

ERGEBNISSE DER AGRIKULTURCHEMIE

IM AUFTRAGE DER FACHGRUPPE
FÜR LANDWIRTSCHAFTLICHE CHEMIE
BEIM VEREIN DEUTSCHER CHEMIKER

HERAUSGEGEBEN
VON

DR. F. HONCAMP

ORDENTL. PROFESSOR AN DER LANDESUNIVERSITÄT UND DIREKTOR
DER LANDWIRTSCHAFTLICHEN VERSUCHSTATION ZU ROSTOCK I. M.

1. BAND: 1929

MIT 60 TABELLEN UND 36 ABBILDUNGEN IM TEXT UND AUF TAFELN

Alle Rechte vorbehalten,
insbesondere die des Abdrucks und die der Übersetzung in fremde Sprachen.

Copyright 1929 by Verlag Chemie, G. m. b. H., Berlin

Inhalt

Bing, Prof. Dr. A., Berlin: Chemie und Landwirtschaft . .	1
Griessbach, Dr. R., Welfen: Verteilung und Kreislauf des Jodes in ihrer Bedeutung für den Ackerboden	17
Siebbele, Reg.-Rat Dr. F., Ludwigshafen a. Rh.: Das Jod bei der Pflanzenernährung	33
Scharreir, Dr. K., Weihenstephan: Das Jodproblem in der Tierernährung	35
Maiwald, Priv.-Doc. Dr., Breslau: Das Zusammenwirken der Elemente Kalium und Natrium beim Pflanzenwachstum .	97
Alten, Dr. F., Berlin: Bodenbearbeitung und Düngung . . .	117
Ruschmann, Priv.-Doc. Dr. G., Berlin: Chemische und biologische Ziele zementlicher Stoffebehandlung . . .	132
Wahlbier, Dr. W., Postock: Über Gesetzmäßigkeiten bei der Eiweißverdauung	148
Deereil, Dr. E., Prag: Erfahrungen, praktische Betracht- ungen und Resultate auf Grund von Phosphorsäureunter- suchungen der Böden	167
Behrens, Dr. W. U., Kindsberg i. Fr.: Die Kalkreserven unserer Böden	190
Kappen, Prof. Dr. E., Bonn: Über die Bestimmung des Sättigungszustandes des Bodens nach neueren Methoden .	205
Trénel, Priv.-Doc. Dr. M., Berlin: Elektrodialyse und das Problem der mineralischen Bodenacidität	221
Görblng, J. v. Adelphi, W., Rellingen: Die Messung der Bodenreaktion, reaktionsändernde Einflüsse und die biologische Auswertung für den Ackerbau	235
Pfeil, Dr. E., Berlin-Dahlem: Erfahrungen über Bestimmung des Kalkbedarfes und Beeinflussung des Sättigungszu- standes von Ackerböden	256

Vorwort

Die vor zwei Jahren beim Verein deutscher Chemiker neu geschaffene Fachgruppe für landwirtschaftliche Chemie hat sich bislang eines außerordentlich starken Besuches ihrer Sitzungen zu erfreuen gehabt. Auch die Anzahl der angemeldeten Vorträge war immer eine so große, daß wegen der beschränkten Zeit unmöglich alle berücksichtigt werden konnten. Es kommt hierdurch nicht nur zum Ausdruck, welche engen Beziehungen zwischen Chemie und Landwirtschaft überhaupt bestehen, sondern auch, daß der große Einfluß, den die Chemie auf die Entwicklung der Landwirtschaft ausübt, ein ständig zunehmender ist. Der auf der diesjährigen Hauptversammlung in Breslau von Prof. Dr. A. Binz, Berlin, gehaltene, öffentliche und allgemeinverständliche Vortrag über „Chemie und Landwirtschaft“, der als erster in diesem Bande zum Abdruck kommt, zeigt in eindeutiger Weise, was die Chemie bislang für die Landwirtschaft getan hat und welche gegenwärtigen und zukünftigen Aufgaben noch für diese zu lösen sein werden. Mehr denn je ist die Chemie heute die grundlegende naturwissenschaftliche Disziplin für die Landwirtschaftswissenschaft. Die auf den jährlichen Hauptversammlungen des Vereins deutscher Chemiker in der Fachgruppe für landwirtschaftliche Chemie gehaltenen Vorträge behandeln Ergebnisse agrikulturchemischer Forschung. Diese Vorträge auch weiteren Kreisen zugänglich zu machen, bezweckt die Drucklegung und Veröffentlichung derselben.

Rostock, im Juli 1933.

F. H o n c a m p.

Chemie und Landwirtschaft.

Öffentlicher, allgemeinverständlicher Vortrag auf der 42. Hauptversammlung des Vereins deutscher Chemiker, Breslau, 24. Mai 1929.

Von Prof. Dr. A. Bött, Berlin.

Zwischen Chemie und Landwirtschaft haben Beziehungen bestanden, lange bevor es eine wissenschaftliche Chemie gab. Denn unbewußt haben schon alte Kulturvölker die Fruchtbarkeit ihres Bodens chemisch beeinflußt: Die Ägypter durch Anwendung des Nilechlammes; da der Nil durch leicht zersetzliches Gestein fließt, so enthält er im Liter 4—15 mg Kalk als Phosphat, Nitrat und Carbonat und außerdem in Suspension noch beträchtliche Mengen Feldspat¹⁾. Dieselben Kunstdüngerarten, welche seit Liebig die Industrie liefert, brachte man also damals schon auf den Acker. Im Prinzip das gleiche taten zur Zeit der ersten britischen Ansiedler die Indianer Nordamerikas. Sie hatten entdeckt, daß ihre Maisfelder eine Zeitlang ergiebig blieben, wenn sie den Fischreichtum ihrer Gewässer zum Düngen benutzten. Das bedeutete gemäß der Zusammensetzung der Fischexkremente Stickstoff- und Phosphorzufuhr, und Dauerwirkung erzielten sie, wenn sie das dem Fischleib fehlende Kalz²⁾ in Form von Holzasche hinzubrachten. Also auch hier eine grundsätzliche Nukleolose Kunstdüngung im modernen Sinne. Berücksichtigt man ferner, daß die Chinesen seit alter Zeit mit Knochenasche düngten, die Römer mit Holzasche, die Inkas mit Guano, daß also auch hier in den Knochen Phosphat, in der Holzasche Kalk, im Guano Phosphat und Stickstoff auftauchen, so sieht man: auch

¹⁾ H. G. Lyons, The physiography of the river Nile and its basin. Cairo 1906. S. 326, 327.

²⁾ „Warum der Fisch vermagte“, Filmstreifen von Dr. von Herff. German Kalk-Werke, Chicago, vorgeführt im Deutschen Kalk-Syndikat, Berlin.

ohne Gelehrsamkeit wußte man zu ganz verschiedenen Zeiten und bei ganz verschiedenen Völkern in wunderbarer Übereinstimmung der Methoden das Richtige zu tun. Auch das Dingen mit Falk kannte das Altertum.

Dieser Dämmerzustand chemisch-landwirtschaftlicher Betätigung erhielt sich bis in die ersten Jahrzehnte des 19. Jahrhunderts, obgleich man auf Grund der inzwischen entstandenen wissenschaftlichen Chemie schon viel früher einen großen Teil der Entdeckungen gemacht hatte, auf Grund deren es möglich gewesen wäre, klar zu sehen und aus der Empirie herauszukommen. Aber die Zeit um 1800 war noch voll von wissenschaftlichem Mysticismus. Ausschließlich der geheimnisvollen *Vita vitalis*, der Lebenskraft, glaubte man die Vorgänge des Pflanzenwachstums zuschreiben zu müssen; man fragte ihr sogar zu, daß sie die mineralischen Bestandteile, die man bei der Analyse fand, in der Pflanze entziehen lasse, obgleich es sich zeigte, daß jene Stoffe auch im Boden enthalten sind, und der Schluß nahe gelegen hätte, daß die Pflanze sie aus dem Boden aufnimmt, sie also auch, als zum Gedeihen der Pflanze notwendig, dem Boden zugeführt werden müssen, wenn sie dort fehlen. Indessen chemische Analyse galt als banales Menschenwerk. Man muß Schillers „Die Götter Griechenlands“ lesen, um zu verstehen, wie damals auch die Naturwissenschaftler dachten:

„Da der Dichtung überreiche Hülle
Sich noch lieblich um die Wahrheit wand —
Durch die Schöpfung fließt da Lebensstille,
Und, was nie empfunden wird, empfand,
An der Liebe Busen sie zu drücken
Gibt man höherm Adel der Natur,
Alles wie ein eingeweihtes Kind
Alles eines Gottes Spur.“

Man wollte nichts von der „vergötterten Natur“ wissen, von einer Welt, die dadurch zu verstehen schien, daß die Vorgänge in Lebewesen dieselben sein sollten wie in der chemischen Natur^{*)}. So kam es, daß selbst ein so klarer Kopf wie Albrecht

*) Herr Dr. Foerst macht mich darauf aufmerksam, daß Schiller an anderer Stelle das neue naturwissenschaftliche Zeitalter anerkennt hat:

Die drei Älter der Natur.

„Leben gab ihr die Fabel, die Schule hat sie entwelet,
Schaffendes Leben auch neu gibt die Vernunft ihr zurück.“ A. B.

Thaler, in allem anderen der Begründer der wissenschaftlichen Landwirtschaft, in chemischer Beziehung in die Irre ging. Noch im Jahre 1830 sprach er an, daß z. B. die Kalkerde in den organischen Körpern täglich erzeugt werde. Stick, Phosphor und andere Mineralbestandteile des Bodens galten ihm nur als Beistoffe, und als wirklichen Nährstoff der Pflanzen sah er den Humus an, d. h. die Gesamtheit der in Zersetzung befindlichen pflanzlichen Reste mit Einschluß des dem Boden zugeführten organischen Düngers, der ja, ähnlich wie Mist nicht gerade an Mythe erinnernd, doch aus der geheimnisvollen Werkstatt des Lebens, aus dem tierischen Organismus stammt.

Aber es folgten nicht wenige deutschen Arbeitsschriten reifte die Kritik heran. Deswegen Karmstedt, der in der Münchener Institution saß und der doch als organisches Erzeugnis der Lebenskraft gesehen erschien, stellte Dr. Friedrich Wöhler, Lehrer der Chemie an der Gewerbeschule in Berlin, im Jahre 1818 synthetisch aus ganz gewöhnlichen anorganischen Chemikalien dar. Es war die erste experimentelle, damals noch kaum beachtete und verstandene Verneinung der Lebenskraft in ihrer Ausschließlichkeit. Zwei Jahre später erließ in dem „Göttingischen gelehrten Anzeiger und in der Regensburger botanischen Zeitung ein anonymes Freund der Botanik“ das berühmte Postumumschreiben zur Beantwortung der Frage: „Ob die sogenannten anorganischen Elemente, welche in der Asche der Pflanzen gefunden werden, auch dann in der Pflanze sich finden, wenn sie dazwischen nicht dargeboten worden; und, ob jene Elemente so wesentliche Bestandtheile des vegetabilischen Organismus sind, daß dieser ihrer zu seiner völligen Ausbildung bedarft.“ Prof. Dr. A. F. Wiegmann und L. Poiseurff, Administrateur der Hofapotheken, beide in Braunschweig, erwarpen

*) So heißt es in der Vorrede zu „Wiegmann und Poiseurff, Über die anorganischen Bestandtheile der Pflanzen“, Braunschweig 1841. Nicht mit Recht wird in der neueren Literatur (A. v. Sarsilla und J. Weigert, Die Mineralien Pflanzenwelt, und Fischer, Handbuch der Botanik) gesagt, die Akademie der Wissenschaften zu Göttingen resp. die Göttinger Universität habe jenes Postumumschreiben gestellt. Man weiß also wohl, wer jenes Postum und dazwischen liegendes räumlich gestellt hat.

den Preis durch ihre Schrift⁵⁾, in der sie mit einer für die damalige Zeit bewundernswürdigen analytischen Genauigkeit bewiesen, daß die Pflanzen für ihr Wachstum Mineralstoffe tatsächlich unbedingt benötigen und daß sie dieselben aus dem Boden aufnehmen. Die gleiche Antwort, nur viel umfassender und alle praktischen Folgen voraussehend, gab bekanntlich Justus Liebig, Professor der Chemie in Gießen, in seinem, im Jahre 1840 erschienenen bahnbrechenden Buche „Die organische Chemie in ihrer Anwendung auf Agrikultur und Physiologie“ — Liebig, den als Studenten die Unzulänglichkeit der Naturphilosophie abgestochen hatte, der darüber zum Materialisten geworden war, der, ähnlich wie Goethe ein „Tollfeind von Wortschällen“, die Schaffenskraft seiner Phantasie darauf verwandte, alles zerschlagen, was ihm in seiner Wissenschaft phantastisch erschien. Darum hätte er — wie wir heute wissen, weit über das Ziel hinausschießend — die Theorie der Lebenskraft, darum erklärte er dem Humus für überflüssig; nicht aus diesem, sondern aus der Kohlenäure der Luft entzöhmte die Pflanze den für ihren Organismus notwendigen Kohlenstoff, und in bezug auf die übrigen Pflanzenbestandteile verknüpfte er im Gegensatz zur Humustheorie seine „Mineraltheorie“, welche aussagte, die Nahrungsmittel aller Gewächse seien anorganische oder Mineralsalzen, die, soweit sie die Ernte dem Boden entzöhmte, ersetzt werden müssen.

Es ist bekannt, daß auf Grund dieser Lehre die gewaltige Kunstdüngungsindustrie entstand, die dem Landwirt seit dem vorigen Jahrhundert Guano, Superphosphat, Thomasmehl, Kalisalz, Chilisalpeter, Ammoniumsulfat und seit dem Beginn dieses Jahrhunderts Kalkstickstoff zur Verfügung stellte — Erzeugnisse von Großindustrien ersten Ranges, abgesehen von der noch zu erwähnenden neueren Kunstdüngungsindustrie. Der Erfolg war ein gewaltiger. Die Durchschnittserträge in Mittelddeutschland stiegen in der Spanne von 1820 bis 1913: für Roggen von 8,6 dz pro ha auf 19,0 dz; für Gerste von 8,0 auf 22,2 dz; für Hafer von 5,6 auf 12,6 dz; für Kartoffeln von 101,7 (im Jahre 1885, die ältere Statistik verzagt hier) auf 153,6 dz; für Heu (1885—1913) von 22,7

⁵⁾ Eingereicht nach den Bestimmungen des Preiswettbewerbs vor dem 1. Januar 1840, also vor dem Erscheinen von Liebig's Buch. Liebig hat diese Priorität anerkannt (Liebig, Die organ. Chemie usw., 2. Aufl., 1873, S. 75).

auf 18,5 da³). Diese Maßnahmen führt man etwa zur Hälfte auf die Anwendung von Kunstdünger, zur Hälfte auf die bessere Bodenbearbeitung und die Bekämpfung von Schädlingen zurück. Wie sehr in Deutschland Liebig's Lehre Wurzel gefaßt hat, geht hervor daraus hervor, daß der deutsche Kunstdüngerverbrauch in den Jahren 1890—1913 um etwa das Fünffache zunahm.

Die Entwicklung, von der bisher die Rede war, führt in einer Linie bis 1914, von dann aber nicht etwa — wie man denken könnte — infolge der großen Katastrophe still zu stehen. Im Gegenteil, es ging in Wissenschaft und Praxis weiter, teils gerade durch die Not des Krieges mit unersater und verstärkter Anregung, teils trotz der Kriegsschle.

Durch den Krieg gefördert wurde in erster Linie unsere Stickstoffindustrie, deren Ausbau Notwendigkeit wurde, weil seit Mitte 1914 der Chilesalpeter ausblieb. Der spanische Stickstoffdünger, den man im Jahre 1903 in Deutschland herstellte, machte auf reines Stickstoff berechnet, 4,7% der Weltzeugung aus; während des Krieges und in den darauf folgenden Jahren gelang es, unsere Stickstoffindustrie darauf vorzubereiten, daß sie im Jahre 1915 schon 18,7% der Weltzeugung deckte und fünf Jahre später 24,8%¹⁾. Daß in einer so lauchbaren Zeit Derartiges möglich war, ist eine der größten Leistungen in der Wirtschaftsgeschichte. Während Deutschland im Jahre 1913 mit einer Einfuhr von 171,8 Millionen TM. für Chilesalpeter belastet war, konnte es seit 1918 sogar einen Überschuß an künstlichem Stickstoffdünger ausführen. Wenn gegen den künstlichen Stickstoffdünger geseufzt wird, so lehnt ihm das im Chilesalpeter enthaltene, in geringen Mengen lebenswichtige Jodsalz, so ist Klee! mit Krotz garantiert worden²⁾, daß sowohl die Phosphatdünger als auch die Kalisalz gedüngt sind, und daß die Äcker schon aus diesen Quellen hinreichend versorgt werden.

Mit dem künstlichen Stickstoffdüngern bietet man dem Landwirt noch qualitativ mehr als bisher durch Darstellung von Leunussalpeter, Kaliumsalpeter, künstlichem Horn-

¹⁾ Nach F. Harnapp, Zeitschr. Pflanzenverehr. Götting 1920, 202.

²⁾ Vgl. W. J. Müller, Chem. Zentr. 1, 33 (1920).

³⁾ O. Kalkstein, Landwirtschaft. Jähr. 48, 486 (1920) und Kalkstein, Zeitschr. angew. Chem. 41, 308 (1922).

stoff, Leunaphos, Nitrophoska usw., wozu sich aus der reinen Phosphatindustrie noch das Ehemaniaphosphat gewinnt. Man ist ferner das Verfahren zur Feststellung dessen, was der Boden der Pflanze bietet, und was fehlt. Die rein chemische Analyse reicht nicht aus. Man läßt darum Versuchspflanzen auf Probeböden wachsen und schließt aus der Analyse der Pflanzensache auf das, was im Boden vorhanden ist. Die Pflanze selber vollzieht also die Analyse.

All das kommt nicht nur Deutschland zugute, sondern sämtlichen Nationen, besonders denjenigen, die gewohnt sind, Raubbau zu treiben. Während vor dem Kriege in Deutschland pro Hektar 1,68 dz Kunstdünger verbraucht wurden, begnügte man sich in Rußland mit 0,06, in Canada mit 0,03, in Rumänien mit 0,01, in Argentinien mit 0,005 dz pro ha²). Man hat in diesen Ländern geküht und geerntet, ohne dem Acker das wiederrzugeben, was man ihm an Nährsalzen entzogen hat. Hier setzt die Aufklärungsarbeit ein und eine neue Entwicklung, die um den Erdball herumgeht; und die primär treibende Kraft entpringt der deutschen Kunstdüngerindustrie und den Forschungsinstituten, wo man die Probleme bearbeitet, wie sie sich nach Land, Klima, Boden und Pflanze gesondert ergeben. Darin liegt eine stärkere Stütze des Weltfriedens als in Staatsverträgen. Denn bei Kriegen ist Hunger oder die Furcht vor dem Hunger ein Hauptursache, während die Steigerung der Bodenerträge die Menschen satt und darum dem Frieden geneigt macht.

Bis zu diesem Punkte etwa, so kann man sagen, reicht die geistige Machthähre Liebig's, insofern die Entwicklung der Ausfluß seiner Mineraltheorie ist. Aber diese Theorie deckt nicht mehr alles. Wir schauen heute weit darüber hinaus, und die vertiefte Erkenntnis wurde dadurch verursacht, daß, je länger der Krieg dauerte, um so größerer Mangel an zwei wichtigen Düngestoffen eintrat, an Kalk und an Stalldünger. Stoffe, die man früher als selbstverständlich hingenah, bis man in dem brutalen und gigantischen Experiment gezwungen wurde, mit unzureichenden Mengen auszukommen. Gerade dadurch aber wurde man dazu veranlaßt, über Kalk und Stalldünger nachzudenken, und man hat Dinge dabei gelernt, welche die

²) A. Schulte im Hofe, zitiert nach W. Sombart, *Das Wirtschaftsleben im Zeitalter des Hochkapitalismus* I, 293 [1907].

wissenschaftlichen Beziehungen zwischen Chemie und Landwirtschaft verfaßt haben.

Der Mangel an Kalk entstand daraus, daß während des Krieges Gips, Transportmittel und Kalk aus Frankreich knapp wurden. Die Folge war eine Verschlechterung des Bodens. Eine der Ursachen erkannte man auf Grund kolloiddchemischer Gesetze. Hiernach tragen die Bodenteilchen auf ihren Oberflächen elektrische Ladungen, und zwar meist negative, welche es — bei Abwesenheit von Kalk — verhindern, daß die Teilchen, insbesondere die des Tonen, sich gegenseitig anziehen und dadurch die für den Pflanzenwuchs günstige Erdstruktur annehmen. Löst sich nun aber im Boden unter dem Einfluß der Kohlensäure Kalk auf, so gleichen die elektropositiven Calciumionen jene negativen Ladungen aus, und zunehmend heften sich die Bodenteilchen in der dem Landwirt erwünschten Weise. Eine zweite Ursache der Bodenverschlechterung durch ungenügende Kalkzufuhr lag darin, daß Kalk notwendig ist, um die Säuren abzufangen, die sich im Boden aus Düngesäuren, Mineralsäuren und aus dem Humus bilden können. Diese Bodenversauerung hat man seit dem Kriege richtig bemerkt und erkannt und daher hat man gefunden, daß durch Humus, auch wenn es sich nur in sehr geringer Konzentration in der Bodenfeuchtigkeit gelöst befindet, doch das Leben im Boden geschädigt wird, und zwar nicht nur das der Pflanzen, sondern vor allem auch das der Bakterien.

Diese Bakterien kennt man, seit sie im Jahre 1881 von Robert Koch entdeckt und 1886 von Hollriegel und Willarth in ihrer Bedeutung für die Bindung des Stickstoffs der Luft und damit für die Ernährung der Pflanzen erkannt wurden, aber in welchem Maße gestört hat man sie erst seit dem Kriegsjahren. In 1 g Ackererde findet man viele Millionen dieser Kleinstlebewesen. Es zeigt sich, daß gewisse Arten dieser Mikroorganismen durch Stickstoffbindung mehr als 4 des Bedarfs unserer Lebewesen an Stickstoffdünger decken; sie befördern den Pflanzenwuchs weiter dadurch, daß sie ähnlich wie die Hefe im Gärfaß große Mengen Kohlendioxid entwickeln. Die Bakterien leben vom Humus, einschließlich des Stallfliegens; daher die Schädigung unserer Ernten, als die Stallfliegenvermehrung zurückging, und gleich-

zeitig auch durch Versäuerung des Bodens die Bakterien in ihrer Lebensfähigkeit gehemmt wurden.

Das waren an sich keine neuen Zusammenhänge, aber sie waren neu durch die Wucht, mit der sie bei längerer Kriegsdauer in Erscheinung traten. Sie führten dazu, daß die Biochemie der Bodenvorgänge erneut durchleuchtet wurde. Man sieht in dem Acker heute nicht mehr nur eine Mineralschicht, die lediglich des Kunstdüngers bedarf; man redet vielmehr von der „lebenden Ackerkrume“, die für ihre Lebewesen des Humus bedarf und im unter Kohlendioxydenwicklung zum Nutzen der Pflanze vergärt, so daß, wie treffend gesagt wurde⁵⁾, der Ackerboden der größte existierende Gärhottel ist. Das Gären ist durchaus ein Lebensvorgang. Die alte Lebenskraft ist also trotz Liebig wissenschaftlich wieder auferstanden, und ohne daß etwa Liebig's Mineraltheorie erschüttert worden wäre, ist sie doch in ihrer Einseitigkeit überwunden, und Thaeer, der geniale Praktiker, hat in seiner intuitiven Wertschätzung von Humus und Lebenskraft nach hundert Jahren gegen Liebig Recht behalten.

Diese Wendung des landwirtschaftlich-chemischen Denkens durch die landwirtschaftliche Kriegsnöte ist fruchtbar geworden und hat biochemische Erfindungen entstehen lassen, welche darauf hincielen, mehr Nahrung für Pflanzen, Tiere und Menschen zu schaffen.

Zur besseren Ernährung der Pflanzen hat man dem alten und scheinbar so banalen Objekt des Mistes eine neue Seite abgewonnen, ein Vorgang, der in der Geschichte von Wissenschaft und Technik nicht ohne Analogie ist. Wenn man in den ersten Jahrzehnten des vorigen Jahrhunderts jemanden fragte, was er vom Steinkohlenteer halte, so dürfte die Antwort etwa im dem Sinne gelaute haben: Sehr unperfektes Abfallprodukt der Gas- und Kohlenwerke, ist müßig, klebrig und riecht schlecht.

Nicht viel anders denken die meisten Menschen über den Mist. Aber ähnlich wie aus dem Studium des Teeres Farbstoffe entstanden, deren deutsche Jahreserzeugung vor dem Kriege auf rund 320 Millionen RM. geschätzt wurde, so könnten aus dem Dung nach sachkundigem Urteil⁶⁾ in Deutschland

⁵⁾ Hayduck, Ztschr. angew. Chem. 49, 753 (1937).

⁶⁾ F. Lohse, Ztschr. Spiritusind., Nr. 10 vom 8. März 1938.

rund 20 Millionen Hk. an Stickstoffwerten gewonnen werden, die infolge der herkömmlichen primitiven Verwertung des Stalldüngers verlorengehen. Um dieser Verschwendung vorzubeugen, hat man durch die Erfindung eines neuen Verfahrens des Mist aus „Edelmist“ herzustellen können. Das Verfahren besteht darin, daß man die tierischen Ausscheidungen zunächst nicht roh Feld bringt, sondern sie eine Zeitlang in Behältern dicht aufschichtet. Hierbei setzt eine Gärung ein, und die hierdurch bewirkte Erhöhung der Temperatur bis zu 68° tötet gewisse schädliche Bakterien, welche unter gewöhnlichen Umständen beträchtliche Mengen der stickstoffhaltigen Substanzen im Mist für sich verbrauchen und sie dadurch den Pflanzen entziehen. Zugleich bilden sich harnsaure Substanzen, so daß jetzt die Masse auf den Acker gebracht zu Pflanzennährstoff ein Vielfaches dessen darstellt, was ohne die Hüllvergrüßung dem Boden gehoben wird. Diese Erfindung gehört zu denjenigen, die man als Et des Columbus bezeichnet und wird sich volkwirtschaftlich auswirken, sobald die Allgemeinheit großer und kleiner landwirtschaftlicher Betriebe geworden ist.

Erfindungen zur besseren Ernährung der Tiere wurden dadurch angeregt, daß man seit 1814 die einseitigen nahrungsmittel aus Rußland, Argentinien, Britisch-Indien und anderen Ländern importierte, und zwar insbesondere Getreide, Reis, Mais und Klee. Dieser Abhängigkeit von dem Auslande, die bei unserem Getreidemangel noch nach dem Kriege drückend geblieben ist, sucht man in dreifacher Weise entgegen: Durch Aufzucht von Getreide in unseren Kolonien, durch Entwicklung neuer, so daß die Möglichkeit besteht, Mais, statt es als Brennholz zu verwenden, in ein hochwertiges Viehfutter zu verwandeln. Ferner ist ein Verfahren erfunden worden, um in billiger Weise die Körner unserer einheimischen Leguminen zu entbittern. Dadurch gelang es, Lupinen, welche 1881 auf Befehl Friedrichs des Großen aus Italien eingeführt wurde, jetzt zu Bedenken, denn die Behälter, die in Symbiose mit der Lupine leben, neutralisieren den Stickstoff aus der Luft, und das so gebildete Eiweiß ist auch der Ernährung ein wertvolles Futter für Tiere.

Schließlich ist ein Verfahren zu nennen, welches schon erhebliche volkwirtschaftliche Bedeutung zu gewinnen beginnt: Die Grünfutterskonservierung. Konservierung

für Menschen macht man schon seit langer Zeit, für Tiere noch nicht; es lohnt sich nicht, denn die Natur gab im Überfluß, und was das Vieh nicht fraß, ließ man verderben. Das kann man sich in unserer Zeit nicht mehr gestatten, und daher das neue Verfahren. Es läßt sich mit der Darstellung von Senferkraut vergleichen, bei welchem man bekanntlich Weißkraut in Fässern einstampft und der Gärung überläßt. In ähnlicher Weise bringt man Grünfütter in zementierte Silos und vergärt es durch Milchsäurebazillen. Dadurch entsteht ein so wohl-schmeckendes Futter, daß die Tiere, wie mehrfach berichtet wird, brüllen, wenn sie es nicht mehr bekommen.

Die Nährstoffe, die für die Nutztiere, hauptsächlich aber auch für den Menschen bestimmt sind, vermehrt man schließlich durch den Pflanzenschutz. Vor welchen Feinden müssen Pflanzen geschützt werden? Die Natur sieht so gesund und friedlich aus, ist es aber nicht. Man kennt etwa 62 durch mikroskopische Pilze verursachte Pflanzenkrankheiten und 72 Arten tierischer Schädlinge, welche unsere Nutzpflanzen befallen. Den Schaden, den dadurch der Landwirtschaft erwächst, schätzt man für Deutschland auf jährlich mindestens eine Milliarde RM. und entsprechend für andere Länder. Daher das Bestreben, die Pflanzen vor diesen Schmarotzern zu schützen. Es ist eine sehr schwierige Aufgabe. Nicht ist widerstandsfähiger als das Ungewieser; mit Löwen, Tigern und Bären wird der Mensch fertig, nicht aber mit den Wanzen; und es bedarf großen Geschicks, langwieriger und kostspieliger Versuche, um Chemikalien zu finden, von denen verlangt wird, daß sie billig sind, trotz Regen und Wind aushalten, daß sie die Parasiten vernichten, nicht aber die Pflanzen. Im Jahre 1885 erkannte man die fungizide Wirkung der Kupferpräparate, die namentlich gegen die Kartoffelkrankheit sowie gegen Pilzkrankheiten im Obst- und Weinbau Anwendung fanden. Diese und andere Maßnahmen der Schädlingsbekämpfung wurden 1889 von Julius Kühn wissenschaftlich organisiert. 1898 entstand eine entsprechende Abteilung am Kaiserlichen Gesundheitsamt, die 1908 als Biologische Reichsanstalt für Land- und Forstwirtschaft selbständig auftrat. Aber die Entwicklung ins Große kam erst durch den Krieg. Die Senkung

der Kartoffelernte des Jahres 1916 auf $\frac{1}{4}$ des normalen Ertrages und die Notwendigkeit des Einsatzes durch die betroffenen Kahlröhren waren durch eine Pilzkrankung verursacht worden. Man zog die Lehre aus dieser Katastrophe und brachte die Energie und die Mittel dazu auf, um im Jahre 1920 die Biologische Reichsanstalt als Prüfstelle für Pflanzenschutzmittel zu erweitern und neu zu organisieren und mit den über ganz Deutschland verstreuten Stationen des Pflanzenschutzdienstes zu einer Arbeitsgemeinschaft zusammenzuschließen. Von gleicher Rührigkeit war die chemische Industrie. Im Jahre 1918 kam mit dem Uspalan ein quecksilberhaltiges Präparat von hoher fungizider Wirkung auf den Markt, es folgten zur Bekämpfung von Weizensteinbrand, Schneeschimmel, Haferflugbrand und Streifenkrankheit der Getreide, das ebenfalls quecksilberhaltige Germoxan, das arsenhaltige Tillantin und das Quecksilberpräparat Abavit. Im Weinbau wurden unter Namen wie Nocepal, Nosprasan, Kurakol n. a. neue kupfer- und arsenhaltige Mittel eingeführt. Diese Aufzählung ist keineswegs vollständig und soll nur andeuten, wie sehr sich die chemische Erfindungsgebe auf diesem Gebiete betätigt.

Eine Schädlingsbekämpfung anderer Art gilt der Mastitis, der Euterentzündung der von Streptokokken befallenen Kühe.

Die deutsche Milchherzeugung könnte, wenn alle Kühe gesund wären, bei einer Durchschnittsleistung von 3000 l pro Kuh und Jahr vollkommen den deutschen Bedarf decken, und es wäre nicht nötig, daß, wie z. B. für das Jahr 1927, unsere Statistik eine Einfuhr von Milch, Butter und Käse im Betrage von 497 Millionen RM. aufweise. Diese Einfuhr ist aber erforderlich, weil ein großer Teil der Milch durch Infektionskrankheiten ungenießbar wird, insbesondere durch Streptokokken, welche in vielen Beständen 30%, in anderen bis zu 80% der Tiere befallen. Das hiergegen erfundene Selektan bedeutet insofern einen grundsätzlichen Fortschritt, als die Mehrzahl derjenigen Fälle geheilt wird, die man in frischem Zustande erkennt. Der endgültige Erfolg kann heute noch nicht abschließend beurteilt werden, teils wegen der Unklarheiten, die wissenschaftlich noch hinsichtlich des Erregers be-

sehen, teils weil die Grundstoffe, welche für rezidivierende Heilung zu gelten haben, noch nicht endgültig geklärt sind. Immerhin kann die Erfindung des Selectans beanspruchen, die ganze Frage der Streptokokkenmasstie in eine neue Bahn geleitet zu haben: die Veterinärmedizin erhielt die Anregung, hinsichtlich der Aufklärung über die Ursachen der Krankheit und hinsichtlich der Therapie neue und gründliche Arbeit zu leisten. Die 1928 gegründete „Berliner Gesellschaft zur Erforschung der Euterkrankheiten der Rinder“ vereinigt chemische, bakteriologische und therapeutische Arbeit. Ihr Programm umfaßt das Studium der Ursache und die chemische Abwandlung des Selectanmoleküls zur Erreichung der optimalen chemotherapeutischen Wirkung.

Das sind in großen Zügen Beziehungen zwischen angewandter Chemie und Landwirtschaft, wie sie angeregt durch die Not von Kriegs- und Nachkriegszeit entstanden.

Daneben schritt trotz jener Not die Chemie als reine Wissenschaft weiter, in einem Maße, das man für erstaunlich halten könnte, wenn nicht diese Erscheinung aus der Kulturgeschichte schon bekannt wäre. Man denke an die Zeit der französischen Revolution und die darauf folgenden Erschütterungen. Obgleich Lavoisier auf der Guillotine, und Leibniz im Armenhaus endete, wirkten doch ihre Entdeckungen und Erfindungen weiter. Ideen sind, wie Napoleon I. sagte, immer stärker als Bajonette, oder, auf unsere Gebiete angewandt: wissenschaftliche Entdeckungen sind stärker als politische und kriegerische Ereignisse.

So auch in unserer Zeit. Weder der Krieg noch die persönliche Behinderung der Forscher und ihrer so kostspieligen Arbeiten durch den Geldmangel der Nachkriegszeit haben einen Stillstand verursacht. Im Gegenteil, die Flut der wissenschaftlichen Veröffentlichungen ist derartig gestiegen, daß sie für die Leser kaum zu bewältigen ist. Die Ursache liegt darin, daß wissenschaftliche Entdeckungen aus den letzten Jahren vor 1914 in nachhaltiger Weise Chemiker, Physiker und Biologen in ihren Bann ziehen. Versucht man, daraus das für die Landwirtschaft Wichtigste herauszugreifen, so ist hauptsächlich die Erforschung der biochemischen Wirkungen des Lichtes zu nennen.

Die Strahlen der Sonne treffen die Blätter und bewirken darin die Kohlensäureassimilation. Da hierbei Sauerstoff abgegeben wird, und da Kohlendioxyd plus Wasser minus Sauerstoff rechnerisch Formaldehyd ist, so erblickt man theoretisch schon seit langer Zeit im Formaldehyd das erste Produkt der Umwandlung der Kohlensäure im pflanzlichen Organismus. Der neueren Forschung gelang es, diese Hypothese experimentell zu stützen. Das Blattgrün wirkt bei der Assimilation der Kohlensäure in der Weise, daß die Moleküle der Kohlensäure sich vorübergehend mit den Molekülen des Chlorophylls vereinigen. Will man diesen Vorgang gemeinverständlich veranschaulichen, so kann man auf bekannte technische Vorgänge verweisen, wo in eine Maschine vorne irgend ein Rohstoff eintritt; die Maschine packt ihn, verändert und veredelt ihn und entläßt ihn als fertige Ware. Einem solchen Maschinen ist jedes Chlorophyllmolekül vergleichbar. Es greift ein Kohlensäuremolekül aus der Luft und stützt es so an, daß ein Sauerstoffmolekül als Ballast herausfliegt, und ein Formaldehydmolekül entsteht, das sich durch sofortige Bildung der ihm verwandten Kohlenhydrate verrät. Sobald das Chlorophyllmolekül das geschafft hat, ist es wieder wie zuvor bereit, das nächste Kohlensäuremolekül zu fassen. Es ist ein Vorgang, von dem jedermann sich eine Vorstellung bilden sollte, denn ohne die Kohlensäureassimilation gäbe es kaum eine belebte Natur, kein Gras, keine Blätter, nicht Zucker, Stärke, Cellulose und Holz, keine Nahrung für Tiere und Menschen.

Wenn man jenen Vergleich weiter durchführt und nach der Energie fragt, die den Vorgang speist, so findet man, daß hier das Licht so wirkt wie bei wirklichen Maschinen der Dampf. Vielleicht findet aber auch noch eine indirekte Wirkung statt. Die neue Theorie des Lichtes sagt uns, daß das Licht nicht in kontinuierlicher Strahlung, sondern in quantenmäßig bestimmten Energiemengen auftritt, und es bestehen Ansichten dafür, daß die Quanten nicht nur von den Chlorophyllmolekülen aufgefangen werden, sondern auch von den Molekülen des Kalis, welche die Blätter aus dem Boden aufgenommen haben. Man hat nämlich gefunden, daß Kalium und Kaliumsalze unter der Einwirkung des Sonnenlichtes Elektronen ausstrahlen, die durch das Licht aus ihren Atomen

an縛unden werden. Diese Elektronen würden demnach auch in den kalbfaltigen Blättern freiwerden und wären neben dem direkt wirkenden Licht als die zweite Betriebsenergie anzusehen, welche die Kohlenstoffassimilation in Gang hält. In Übereinstimmung damit hat sich bei Feldversuchen herausgestellt, daß die Wirkung des Kalis bei bedecktem Himmel relativ stärker ist als bei Sonnenschein, was mit der Anschauung übereinstimmt, daß Kall Sonne teilweise ersetzt, indem es durch die Eigenart seines Atombaus selbst diffuses Licht zu verstärkter Wirkung bringt.

Auch die Lehre von den Vitaminen scheint zum Teil in das Gebiet der Strahlungen zu gehören. Vitamine sind bekanntlich diejenigen Bestandteile der Nahrungsmittel, welche keinen Calorienwert haben, also vom Standpunkt der alten Ernährungslehre aus überflüssig erscheinen, von denen man aber heute mit Voltaire sagen kann: *Le superflu, c'est aussi nécessaire*. Denn Vitaminmangel bedeutet Erkrankungen. Diese kurz vor dem Kriege begründete Lehre hat nun seit einigen Jahren ergeben, daß Rachitis sich bei Versuchstieren heilen läßt, wenn man sie der Sonne aussetzt; dabei entsteht unter der Einwirkung der Sonnenstrahlen in der Haut des Tieres das heilende Vitamin. Somit — könnte man sagen — hat die Wissenschaft bestätigt, was an sich nicht neu ist, daß es gesund ist, in der Sonne spazierenzugehen; und ein Sonnenanbeter würde hinzufügen, er habe immer schon gewußt, daß aus der Sonne geheimnisvolle Kräfte strömen. Indessen der große und grundsätzliche Fortschritt ist der, daß wir jetzt die Ursache dieser Sonnenwirkung kennen, und unsere Erkenntnis erfährt eine weitere Verlebung, als im Jahre 1927 gefunden wurde, daß es eine bekannte Verbindung aus der Reihe der Gallenstoffe ist, die im lebenden Körper durch Licht vom Vitamin wird. Diese Substanz hat also die Fähigkeit, durch das Licht in den Zustand höherer Reaktionsfähigkeit überzugehen, nämlich wie nach der vorhin erörterten Theorie die Kallstoffe. Man könnte also genügt sein, Kallwirkung und Vitaminwirkung zu vergleichen. Vielleicht liegen hier Sonderfälle eines und desselben Gesetzes vor, das die Beziehungen zwischen Licht und Lebensvorgängen regelt. Für den Landwirt ergibt sich aus der neuen Erkenntnis der biochemischen Lichtwirkungen, daß es nicht genügt, wenn nur

die Pflanzen Licht haben, und die Tiere, wenn auch bei gutem Futter, im dunkeln Stall stehen; sie müßten hinaus in die Sonne, damit sich in ihrer Haut die Stoffe bilden, welche die Gesundheit erhalten und die bei Mischkriegen auch in die Milch übergehen und für die menschliche Ernährung von Bedeutung werden. — Würdigt man diese neuen wissenschaftlichen Fortschritte in ihrer Gesamtheit, so ergibt sich, daß auch in unserer Zeit Forscher vom Schlage des Archimedes tätig sind, welche die Wirren der Zeit durch ein „*Non turbare circulos meos*“ zu bannen imstande sind.

Es ist in diesem Vortrage vermieden worden, die Namen der Männer zu nennen, die in neuerer Zeit an dieser Entwicklung beteiligt sind, denn bei der Gedrängtheit der Darstellung ist eine vollkommene Aufzählung nicht möglich, und eine unvollkommene wäre ungerecht. Wenn man aber fragt, welche Länder diese Leistungen aufzuweisen haben, so würden zwar mehrere zu nennen sein, insbesondere die angelsächsischen, aber — das kann ohne nationale Überhebung gesagt werden — an erster Stelle würde Deutschland stehen. Es entspricht das nicht nur der wissenschaftlichen Veranlagung unseres Volkes, sondern auch einer kraftvollen Regung, welche die Folgen des Krieges überwinden will und sich der drückenden Einfuhr ausländischer Nährstoffe widersetzt.

Wenn man aber weiter fragt, ob der gegenwärtigen Not der Landwirtschaft durch die Chemie gesteuert werden kann, so ist zu antworten, daß neue Entdeckungen und Erfindungen im heutigen verarmten Deutschland schwer zur Geltung zu bringen sind. Das wäre nur möglich, wenn Gelegenheit bestünde, sie rasch und ausgiebig zu erproben und allen Landwirten näherzubringen. Mit Recht fordert deshalb die vom Verein deutscher Chemiker geschaffene „Karl Goldschmidt-Stelle für chemisch-wissenschaftliche Betriebsführung“ vermehrte Mitarbeit des Chemikers in der Landwirtschaft. Und besondere Beachtung verdient der eben erschienene „Bericht einer amerikanischen Studienkommission, erstellt auf Veranlassung deutscher Landwirte, Industrieller und Banken“ (Berlin, bei Parey, 1922), worin zum Ausdruck gebracht wird, daß in Deutschland viel mehr für das landwirtschaftliche Unterrichts- und

Forschungswesen geschehen müßte, wenn man als Maßstab das anlegt, was in Amerika geschieht. Nun wissen wir, daß dieser gute Rat nicht so ohne weiteres befolgtbar ist, denn der Strom des Goldes, der in Amerika fließt, ist bei uns verstopft. Wohl aber sollten jene ausländischen Stimmen, die in diesem Falle von Männern kommen, die es gut mit uns meinen, doct gehört werden, wo man die staatlichen Sparmaßnahmen beschließt, und sie sollten dahin wirken, daß diese Sparmaßnahmen erst in allerletzter Linie auf die Wissenschaft ausgedehnt werden. Denn die Wissenschaft hat auf dem uns hier interessierenden Grenzgebiete zwischen Chemie und Landwirtschaft Früchte gezeitigt, die ohne weitere Pflege verkümmern müßten, die aber im anderen Falle in erster Linie die Gewähr dafür bieten, daß wir den Weg wiedergefunden haben, der zu Aufstieg und Gesundheit führt.

Verteilung und Kreislauf des Jodes in ihrer Bedeutung für den Ackerboden¹⁾.

Von R. GEMSBACH, Wolfen, I. G. Farbenindustrie.

Vorbemerkung: Der Biologie der letzten Jahrzehnte ist es mit einer wesentlich verfeinerten analytischen Methodik gelungen, im Pflanzen- und Tierkörper eine große Anzahl von meist nur in geringen Mengen, ja vielfach nur in Spuren vorhandenen Elementen aufzufinden. Es ist von diesen Bestandteilen vielfach noch nicht bekannt, ob ihnen im Organismus eine bestimmte Funktion zukommt und ob sie infolgedessen zu den lebenswichtigen Stoffen zu rechnen sind oder nicht. Zu den Elementen, denen eine steigende Beachtung geschenkt worden ist, gehört u. a. auch das Jod. Das Interesse an diesem Element hat über die rein wissenschaftlichen Kreise hinaus in jüngerer Zeit unter dem Schlagwort „Jodfrage“ auch in der breiteren Öffentlichkeit einen Widerhall gefunden und ist zum Teil zum Ausdruck gekommen in weitreichenden Erwartungen, die an dieses Element in wirtschaftlicher und sozialhygienischer Richtung geknüpft wurden.

Die Erkenntnisse der Bedeutung des Jodes für den tierischen und menschlichen Organismus geht, wie ich hier als bekannt voraussetzen kann, zurück auf die Feststellung von **Baumann**, wonach die Schilddrüse in ihren wirksamen Geweben Jod enthält. Sie erzeugt chemische Stoffe besonderer Art, sogenannte Hormone, die mit dem Blut in die Gewebe übergehen und dort spezifisch regulierende Wirkungen ausüben. Von **Kendall** wurde ein wirksamer Bestandteil, das sogenannte Thyroxin, isoliert, dem auf Grund der Unter-

¹⁾ Der Inhalt des nachstehenden Referates deckt sich teilweise mit dem in der Arbeit „Jodfrage und Landwirtschaft“ von **W. Gauss** und **R. Griesbach** (Ztschr. Pflanzenerzehr. Düngung, Abt. A, 12, 221 [1928]) mitgeteilten Material; auf diese Veröffentlichung sei auch hinsichtlich ausführlicherer Literaturangaben verwiesen.

suchungen von Harington und Barger die Struktur eines Diodiparacryptophytenfilthers des Diodietyrasins zuzuschreiben ist. Das Jod ist damit, um mit de Quervain zu sprechen, „endgültig als normaler in seinem Umsetz einer gewissen Regenerierung unterworfenen Bestandteil des menschlichen Körpers (und auch der höheren Tiere) erkannt worden.“ Für den pflanzlichen Organismus fehlen zurzeit noch Untersuchungen entscheidender Art.

Die Jodfrage: Daß gleichwohl die landwirtschaftlichen Kreise an der Jodfrage ein starkes Interesse genommen haben, geht zurück auf Mitteilungen von Loew, Siekka u. a., wonach das Jod Stimulationswirkungen auf die Pflanze auslöste, die Mehrerträge gewährleisteten könnten. In den letzten Jahren wurde dieses Interesse noch verstärkt durch namentlich aus Amerika und Neuseeland stammende Mitteilungen überraschender Effekte von Jodgeben bei der Tierhaltung.

Die seit den Kriegsjahren beobachtete stärkere Verbreitung des endemischen Kropfes und die auf eine Bekämpfung dieser Krankheit gerichteten Abwehrmaßnahmen haben weiter die Aufmerksamkeit aller an der Volkshygiene mehr oder weniger interessierten Stellen auf die Frage der Jodversorgung der Organismen gelenkt.

In diesem Zusammenhang wurde vor einigen Jahren von Schröder*) die Frage aufgeworfen, ob nicht unsere Kulturböden im Laufe der Jahrhunderte an Jod verarmt sein könnten, so daß unsere heutigen Kulturpflanzen und damit Mensch und Tier an einem Jodmangel leiden, eine Anschauung, die schon vorher von dem Schweizer Kunziker ausgesprochen wurde und die in der Jodmangeltheorie des endemischen Kropfes von Prévost-Le Chatin ihren Vorgänger hat. Es ist das Ziel dieses Referates, zu prüfen, ob Befürchtungen dieser Art begründet sind. Zu diesem Zwecke soll zunächst eine kurze Übersicht gegeben werden über die Verteilung des Jodes auf der Erde und über den Kreislauf dieses Elementes an der Erdoberfläche. Sodann wird es wichtig sein, zu untersuchen, welche Rolle unseren Kulturböden bei diesem Kreislaufe zukommt und wie sich für diese unter den wechselnden Einflüssen, denen sie unterworfen sind, die Bilanz an diesem Elemente gestaltet.

*) Schröder, Angew. Botanik 7, 6 [1935].

Verteilung des Jodes auf der Erde.

Das Element Jod ist auf der Erdoberfläche auf sämtliche Phasen verteilt. Halten wir uns an die Einteilung von Goldschmidt, so findet es sich sowohl im Eisenkern (der siderophilen Phase) wie in der Hohlkugelschale (der chalkophilen Phase), der Silicatschale (der lithophilen Phase), sowie schließlich in der Wasserschale und der Atmosphäre (der atmosphilen Phase). Auf Grund der Untersuchungen von v. Fellenberg und Lundt nimmt seine Konzentration vom Innern des Erdballes nach außen hin zu. Die im Eisenkern enthaltenen Jodmengen, deren Schätzung sich hauptsächlich auf die Untersuchung von Meteoriten sowie Studien über die Jodverteilung in Schlacke und Eisen beim Hochofenprozeß stützt, dürften etwa 100—180 γ/kg^* betragen¹⁾, die im Silicatmagma enthaltenen Jodmengen sind auf etwa 800 γ/kg zu schätzen. Der durchschnittliche Jodgehalt der Gesteine, insbesondere der Sedimentgesteine ist, wozuf wir noch später im einzelnen zurückkommen werden, nicht wesentlich höher. In der Bodenschicht, die unter Einwirkung der Niederschläge und der Vegetationsdecke steht, werden schließlich Jodgehalte von in der Regel mehreren 1000 γ/kg erreicht.

Über den Jodgehalt des Meeres liegen mehrere neuere Bestimmungen von Heymann und v. Fellenberg vor, die in der Größenordnung von etwa 18—40 γ/l liegen, und zwar kommen die niedrigeren Zahlen dem Strandwasser, dem Wasser des Mittelmeeres und des Kanals zu, während der höchsterwähnte Wert für Wasser vom Atlantischen Ozean gefunden wurde. Die Jodgehalte von Flußwässern weisen ziemlich bedeutende Schwankungen auf. Die von v. Fellenberg für die Schweiz gefundenen Werte bewegen sich zwischen 0,88 und 1,42 γ/l ; Heymann fand in holländischen Wässern Jodmengen zwischen 1,5 und 30 γ/l ; kürzlich von Cauer durchgeführte ziemlich umfangreiche Untersuchungen im Hunerück- und Taunusgebiet liegen etwa in der Mitte (0,54 bis 4,5 γ/l , in einzelnen Fällen bis zu etwa 17 γ/l).

Über den Jodgehalt der Luft, die das wichtigste Transportmittel für das Jod an der Erdoberfläche darstellt, gehen insbesondere neuere Untersuchungen v. Fellenbergs aus-

¹⁾ 1 γ = 1 millionstel Gramm.

²⁾ Auf die Mitteilung dieser Zahlen kann hier und im folgenden verzichtet werden.

kunft. Die gefundenen Werte schwanken innerhalb der ziemlich weiten Grenzen von 0,03 bis 2,54 γ pro cbm (Mittelwert etwa 0,65 γ /cbm). Infolge der hohen Dampfdichte des Jodes²⁾ ist in ruhender Luft der Jodgehalt unmittelbar über dem Boden wesentlich höher als beispielsweise in Atmosphäe.

Einen Überblick über die Verteilung des Elementes Jod auf der Erde gibt die folgende Tabelle. Die darin aufgeführten Zahlen können im Hinblick auf unsere bisherigen beobachteten Kenntnisse naturgemäß lediglich als Schätzungen bezüglich der Größenordnung betrachtet werden.

Tabelle 1. Jodverteilung auf der Erde³⁾.

	Jodgehalt	Jodmengen in t
Erdrinneres	100 γ /kg	600 000 000 000 000
Erkruste mit 20 km Tiefe berechnet	200 γ /kg	2 800 000 000 000 (ent. d. Kontinenten) 4 800 000 000 000 (ent. d. Meeren) 110 000 000 000 (ent. d. Kontinenten)
Erkruste mit 1 km Tiefe berechnet	300 γ /kg	
Unter Grundwasserstoß stehende Gesteinsschicht (mit 5 m Mächtigkeit angenommen)	700 γ /kg	1 800 000 000
Boden (1 ha = 5 000 000 kg gewichtet)	2500 γ /kg	110 000 000
Meer	20 γ /l	27 000 000 000
Luft	0,65 γ /cbm	240 000
Kohlenslager	60 γ /kg	ca. 800 000
Vorrat an gewinnbarem Jod in Salpetersanden		ca. 600 000

Kreislauf des Jodes.

Das Element Jod ist in der Natur einem ständigen Kreislauf unterworfen, bei welchem allerdings die im Erdrinneren ruhenden Jodvorräte als ein verschlossenes Schatz gelten müssen. Auch das von den tieferen Gesteinsschichten eingeschlossene Jod nimmt, da diese im allgemeinen den Verwitterungsvorgängen entzogen sind, daran nur innerhalb geo-

²⁾ Th. v. Pellenberg, Das Vorkommen, der Kreislauf und der Stoffwechsel des Jods (Ergebnisse der Physiologie 25, 170, S. [1928]) hat eine Verteilungskurve berechnet, die die Abhängigkeit des Jodgehaltes der Luft von der Meereshöhe theoretisch veranschaulicht (s. insbes. S. 342).

³⁾ Vgl. W. Gans u. R. Griesbach, loc. cit., S. 329.

logischer Zeitraums teil. Für den hier interessierenden Kreislauf des Jodes an der Erdoberfläche können beide außer Betracht bleiben. Demgegenüber ist das Meer mit seinen Strömungen, die einen Ausgleich unterhalten, und mit seinen zahlreichen Lebewesen als die große Reserve an beweglichem Jod zu betrachten. Das Urmeer muß sich durch einen sehr hohen Jodgehalt auszeichnen haben, da die Sedimentgesteine und der größte Teil der lebenden Organismen ihren Jodgehalt dieser Quelle verdanken. Durch Verwitterung und Auslaugung der Gesteine gelangen alljährlich gewaltige Jodmengen in das Meer zurück. Ein erheblicher Teil des Meeresjodes wird nach Lande von dem Phytoplankton gebunden, das im Frühjahr, wenn die durch Erosion der Gesteine mit Flüssen und Strömen aus dem Festlande zugeführten Nährstoffe verhältnismäßig plötzlich in das Meer gelangen, gewaltig aufblüht. Das Jod wird im Phytoplankton von etwa 20 μ l Meerwasser auf 200 mg/kg wasserfreie Substanz, d. h. auf etwa das 10 000fache angereichert. Ein Teil des Phytoplanktons wird von den in den oberen Schichten des Meeres lebenden niederen Organismen, insbesondere dem Zooplankton, verschluckt, der größte Teil sinkt ab und dient mittelbar oder unmittelbar den Invertebraten und Vertebraten der Tiefseefauna als Nahrung. Neuere Untersuchungen von Lande haben ergeben, in welchem erheblichem Maße das Jod auch in diesen Organismen angereichert wird (sogenannte fettreiche Fische enthalten 0,5 mg Jod/kg, sogenannte magere, muskulöse 15—30 mg Jod/kg Trockensubstanz).

Beim Absterben dieser Organismen wird das Jod, das darin im wesentlichen in organischer Form gebunden ist (hauptsächlich an Eiweißverbindungen), teilweise wieder mineralisiert und kehrt in das Meerwasser zurück, womit ein kleiner Zirkel innerhalb des Meeres selbst geschlossen wird. Ein anderer Teil des Jodes gelangt mit den abgestorbenen Organismen in die Sedimente, wo unter meist anaeroben Verhältnissen Fäulnis und teilweise allmähliche Verkohlung der organischen Reste einsetzt. Fossilienreiche Sedimente sind daher wie auch fossile Kohlen und Torf in der Regel verhältnismäßig jodreich. Der relative Jodgehalt gewisser Gesteinsschichten kann gemäß Wilke-Dörflert geradezu als Beweis für ihren organischen Ursprung angesprochen werden. Es sei hier beispielsweise erwähnt, daß der genannte Forscher die Entstehung des Chlorsälpeters auf Grund seines hohen Jod-

gehalten auf einem maritimen Salbstoffwechsel zurückführt. Durch hohen Jodgehalt zeichnen sich auch die Phosphorite aus, deren Phosphatgehalt ebenfalls auf den organischen Ursprung hinweist.

Vom Meere werden weiter bedeutende Mengen Jod, wenn auch in hoher Verdünnung, an die Atmosphäre abgegeben, die das Jod ins Binnenland trägt und mit den Niederschlägen einen Teil dieses Jodes dem Boden zuführt. Ein Teil des atmosphärischen Jodes wird, wie insbesondere neuere Untersuchungen von v. Feilenberg, Heymann und Andronikow-v. Wrangell¹⁾ sowie D. Schmidt, Forschungslaboratorium Oppau²⁾, gezeigt haben, von der Pflanze unmittelbar mittels der Assimilationsorgane aufgenommen — daneben nimmt die Pflanze offenbar auch Jod in wasserlöslicher Form mit der Bodenflüssigkeit auf, werauf wir weiter unten zu sprechen kommen — und hauptsächlich in den Wurzeln eingespeichert; nach deren Absterben gelangt es zum größten Teil ebenfalls in den Boden. Beispielsweise hält das Fallaub, wie v. Feilenberg gezeigt hat, sein Jod — wohl meist in Form organischer Jodverbindungen — sehr sthe fest.

Im Zusammenhang mit den im Boden stattfindenden Abba- und Humifizierungsvorgängen, die teils aerob, teils anaerob verlaufen, wird das in den Boden geführte und darin festgelegte Jod im Laufe des Jahres zum Teil wieder in Freiheit gesetzt und in elementarer Form an die Atmosphäre zurückgegeben. Ein anderer Teil geht in wasserlösliche Jodverbindungen über und gelangt mit der Bodenflüssigkeit in die tieferen Bodenschichten und, soweit diese durch nicht adsorptiv festgehalten wird, mit dem Sickerwasser in das Grundwasser und mit diesem über Flüsse und Ströme ins Meer zurück. Auch auf diesem Wege wird noch ein Teil des Jodes von Pflanzen und Tieren abgefangen und gelangt erst auf dem Umwege über die abgestorbenen Organismen in den großen Kreislauf zurück.

Das Bild des Jodkreislaufes, wie es im vorstehenden unter Anlehnung an die Darstellungen von v. Feilenberg

¹⁾ Andronikow-v. Wrangell, „Bericht über Versuche, Pflanzen in jodreicher Umgebung wachsen zu lassen“, Referat, gehalten gelegentlich einer Aussprache über die Jodfrage am 12./13. März 1929 in Leuna.

²⁾ D. Schmidt, nach einem Referat, gehalten in Leuna, s. T. veröffentlicht W. Claus und E. Griesbach, loc. cit., S. 410 ff.

und Lunde skizziert wurde¹³⁾, bedarf natürlich im einzelnen noch der Ergänzung und Vertiefung.

Unter anderem muß man sich vergegenwärtigen, daß die Intensität dieses Kreislaufes nicht an allen Stellen der Erde die gleiche sein wird, daß sie vielmehr von einer großen Anzahl Faktoren abhängig ist, wie der geographischen Lage und dem Klima (und damit Sonnenbestrahlung und Niederschlagsmengen) eines Landes, von Bodenart und Vegetationsdecke (Pflanzenart, Durchwurzelung und Wachstumsintensität) u. a. m. Es wird uns im folgenden im wesentlichen interessieren, wie sich dieser Kreislauf im Bodenbildungsproe ausgewirkt hat und noch heute auswirkt. Hierbei wird auch die eingangs angeschnittene Frage ihre Beantwortung finden, ob nämlich diese Faktoren in ihrer Gesamtheit auf unsere Kulturböden im Sinne eines stationären Gleichgewichtes sich auswirken oder einseitig in der Richtung, daß letztem Endes der Jodgehalt durch die Ernte, die Auslaugung durch Sickerwasser und die Abspaltung elementaren Jodes an die Atmosphäre die Zufuhr von Jod aus den natürlichen Quellen überwiegt und damit eine allmähliche Verarmung der Böden an Jod eintritt.

Jodgehalt der Böden, Vergleich mit dem der Gesteine.

Jodgehalt der Gesteine: Die Gesteine bilden bekanntlich das Rohmaterial, aus welchem durch Verwitterung im Zusammenwirken mit der Pflanzendecke unsere heutigen Kulturböden hervorgegangen sind. Es sei im folgenden daher rnstlich kurz auf den Jodgehalt der Gesteine eingegangen. Die bisher vorliegenden Analysen gehen hauptsächlich auf Stocklass und v. Fellenberg zurück. In letzter Zeit sind weitere Untersuchungen von Cauer¹⁴⁾ bekanntgeworden; ferner wurden von J. Beck, Pflanzerversuche Oppau, einige

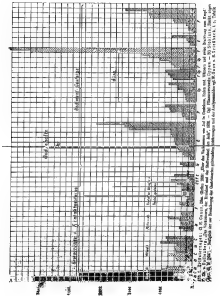
¹³⁾ v. Fellenberg, loc. cit., sowie Lunde, Særtryk af Norges Apotekerforenings Tidsskrift 1909: „Jodets Biskjendi og Kretsløb i naturen“; u. T. auch nach einem Referat desselben Forschers: „Vorkommen des Jods im Meer und in den Meeresorganismen“, gehalten am 12. März 1909 in Leuna.

¹⁴⁾ Cauer, Ueber das Vorkommen von Jod in Gesteinen, Erden, Wässern und seine Beziehung zum Kropf, Dissert. Gießen 1909. Der Hauptteil wird, wie mir der Verfasser mitteilt, demnächst in „Journ. Landwirtschaft.“ veröffentlicht.

Jodbestimmungen von Gesteinen durchgeführt. Als Durchschnittswert von reichlich 30 bisher untersuchten Massengesteinen (Erdarrunge-, Kontaktgesteinen sowie kristallinen Schieferen) ergibt sich ein mittlerer Jodgehalt von etwa 500 γ, während sich als Mittelwert für etwa 80 bisher analysierte Sedimentgesteine etwa 1000 γ errechnet. Im einzelnen liegen nicht unbedeutende Schwankungen vor. Durch hohen Jodgehalt zeichnen sich einige von Th. v. Fellenberg untersuchte tertiäre Meeresschichten, einige von Beck, Pflanzenversuche Oppau, sowie dem vorerwähnten Forscher analysierte Malmgesteine und einige von Cauer untersuchte Ton-schiefer (Hunsrück-Taunusgebiet) aus. In Abb. 1 ist das vorliegende Analysenmaterial graphisch zur Anschauung gebracht (vgl. auch Gaus und Griesbach, l. c., Tabelle 1).

Eine Abhängigkeit des Jodgehaltes der Gesteine von der geologischen Formation konnte Th. v. Fellenberg nicht feststellen. Auch die neueren Untersuchungen lassen Andeutungen in dieser Richtung vermissen.

Jodgehalt von Böden. Den Zahlen für Gesteine steht eine etwa einunddreißigmal so große Anzahl von Analysen über den Jodgehalt von Böden gegenüber. In Abb. 2 sind die Jodgehalte von etwa 180 Bodenproben (in Oberkrumen und Untergrundböden unterschieden und soweit mitgeteilt, auch unter Angabe des ermittelten Humusgehaltes sowie des pH -Wertes) gemäß Analysen von Bleyer, Cauer, Denech, v. Fellenberg, Köhler, v. Nostitz und Gum, Beck und Scharer zusammengestellt (vgl. Gaus und Griesbach, l. c., Tabelle 1). Auch hier sind die Schwankungen der Jodgehalte im einzelnen nicht unbedeutend. Die niedrigsten Jodgehalte finden sich bei einigen Sandböden. Bei Anordnung nach steigendem Jodgehalt folgen, wie schon Köhler²⁹⁾ feststellt: Löss-, Lehm- und Tonböden. Innerhalb jeder dieser Bodenarten liegen nicht unbedeutende Abweichungen vor. Die Mittelwerte liegen bei den letzterwähnten drei Bodenarten verhältnismäßig nahe, was im Hinblick auf die zahlreichen Abstufungen, die hier anzutreffen sind, nicht überraschen kann. In größerem Abstände folgen alsdann die relativ sehr jodreichen Schlick- und die Torf- und Moorböden. Lassen wir die Böden mit extrem hohen Jodgehalten, wie beispielsweise einen Oldenburger Schlack der Köhlerschen Reihe, sowie einige von



Beck untersucht, der nächsten Nähe des Meeres entnommene Böden (mit bis zu 50 000 γ) beiseite und beschränken wir uns ferner auf die Oberkrumen, so ergibt sich ein Durchschnittswert von etwa 2000–2500 γ/kg Boden. Dieser Wert liegt wesentlich höher als der für Gesteine gefundene.

Es könnte vielleicht gesagt werden, daß dieser Gegenüberstellung eine gewisse Willkürlichkeit anhaftet, da das Ergebnis durch die zufällige Wahl der untersuchten Gesteine und Böden beeinflusst sein könnte. Das Bild bleibt indessen durchaus das gleiche, wenn man, wie Th. v. Fallenberg und neuerdings Gauer es getan haben, die Jodgehalte der Böden mit denen der Muttergesteine, aus denen sie hervorgegangen sind, unmittelbar vergleicht. In der nachstehenden Tabelle und in Abb. 3 sind einige zusammengehörige Analysepaare, die sich auf sehr verschiedenartige Gesteine (Ungesteine, sowie Sedimentgesteine verschiedenen Alters) und die daraus hervorgegangenen Böden beziehen, zusammengestellt.

Tabelle 2⁴⁾.

Jodgehalt des Bodens in γ/kg	Muttergestein	Jodgehalt des Muttergesteins in γ/g
1 580	Gneis	290
2 180	Amphibolit	250
1 570	Diorit	270
620	Mosermolasse	700
460	Untere Salswasserolasse	220
1 750	Flugsch	240
8 400	Malm	180
8 880	"	1 700
11 920	"	8 400
4 740	Dogger	590
1 960	Waldschicht	1 000
2 700	Reichert	2 200
820	Oberer Dolomit	320
1 870	Muschelkalk	540

Mittelwert 3 142

Mittelwert 1 087

⁴⁾ Siehe Köhler, Zentr. angew. Chem. 48, 122 (1925), sowie Mittelst. u. d. Labor. d. Preuss. Geol. Landesanstalt, Bd. 7, S. 2.

⁵⁾ Vgl. v. Fallenberg, loc. cit. S. 219. Ein besonders deutliches Beispiel der Jodanreicherung beim Übergang von Gestein und Boden stellt das von v. Fallenberg untersuchte Malmgestein dar, bei dem der Jodgehalt des Bodens das Fache des Muttergesteins beträgt.

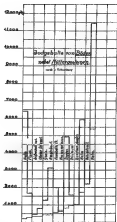


Abb. 5.

Als Mittelwert für den Jodgehalt von 14 Gesteinen ergibt sich eine Zahl von rund 1000 γ , für die entsprechenden Böden etwa 3000 γ . Bei den Cauer'schen Untersuchungen ergaben sich ähnliche Verhältnisse.

Bei der Verwitterung der festen Gesteine und ihrem Übergang in Erden findet somit eine starke Anreicherung an Jod statt. Da die Lage der Fundorte vielfach andere Erklärungs-möglichkeiten ausschließt, muß man mit v. Fellenberg folgern, daß dieser Jodüberschuß der Atmosphäre entstammt.

Jodbindungsvermögen der Böden.

Wie haben wir uns nun die Bindung des Jodes durch Erden bzw. Böden zu denken? Beim Übergang von Gesteinen in Böden nimmt zunächst der Dispersitätsgrad des aufstauenden Skelettmaterials durch rein physikalische Zerkümmern (mechanische und thermische Beanspruchung) gewaltig zu; bei der chemischen Verwitterung, wie sie unter Einwirkung von Wasser, Kohlensäure, Sauerstoff usw. stattfindet, greifen ferner im großen Umfange topochemische Umsetzungen Platz, wobei vor allem kolloidale Kieselsäure-, Tonerde- und Eisen-oxydverbindungen entstehen, von z. T. reaktischem oder halbreaktischem Charakter. Hierzu treten erhebliche Mengen organischer Kolloidsubstanzen, die der Pflanzendecke entstammen. Daß die auch für andere irdische Mineralstoffe u. dgl. beachtete hohe Absorptionskraft der Böden auch gegenüber Jod und Jodverbindungen in Erscheinung tritt, ist demnach verständlich. Es ist nicht ohne Interesse, zu fragen, in welchem Maßstabe die genannten Faktoren bei der Steigerung dieses Jodbindungsvermögens im einzelnen mitwirken.

Jodbindung an Mineralbestandteile.

In diesem Zusammenhang sind zunächst einige Vergleichsversuche zu erwähnen, die von v. Fellenberg zur Prüfung der Jodadsorption von Gesteinspulvern mit der von Erden durchgeführt wurden. Der genannte Forscher ließ es diesem Zwecke auf das fein gepulverte, zum Teil gebrauchte Gesteinsmaterial wie auf die Erden zunächst verdünnte Jodlösungen einwirken, und wusch sodann unter Zuhilfenahme einer Zentrifuge mit Wasser aus (s. Tabelle 3 sowie Abb. 4).

Bei Gneisserde, bei Erde aus Meeresmuschel und Doggererde konnte eine erhebliche Jodadsorption nachgewiesen werden, welche diejenige der (fein gepulverten) Muttergesteine bedeutend übertraf. Eine Auslaugung wurde

beobachtet bei einem (Molasse-) Sandstein, dessen geringe Adsorptionskraft nicht wundernehmen kann. Die entsprechende Molasseerde mit $p_{H_2} = 5,08$ zeigte trotz des verhältnismäßig niedrigen Humusgehaltes sehr starke Adsorptionswirkung. Ein Mindergehalt an Jod (von etwa 20%) wurde auch bei einem sehr jodreichen Mahngestein mit etwa 8000 und einer Malm-erde mit etwa 12000 γ/kg festgestellt.

Tabelle 3^{*)}.

Nr.		Organ. Substanz %	vor der KJ-Be- handlung	nach der KJ-Be- handlung Jod im kg	Differenz
1	Bergkristall, Stannit	—	300	800	500
2	Quarz, Kieselberg	—	300	1370	1070
3	Quarz, Erde	18,8	1300	2400	1100
4	Meeresschlamm, Sandstein . .	—	1000	900	—100
5	Meeresschlamm, Erde	4,3	920	4300	3380
6	Dogger, Hauptrogenstein, Erde	13,7	4940	11080	6140
7	Malm, Ektingschiefer, Mergel .	—	7000	8160	—1160
8	Malm, Ektingschiefer, Erde . .	10,4	11000	9260	—1740

Diese Ausnahmen bringt v. Fellenberg mit der verhältnismäßig hohen Wasserstoffkonzentration in Zusammenhang; auch bei Erden adsorbiert das saure Material stark, das basische viel weniger (s. weiter unten!).

Diese Gegenüberstellung zeigt deutlich, daß Erden im allgemeinen eine viel stärkere Jodadsorption aufweisen als die entsprechenden Gesteinspulver.

Unter natürlichen Bedingungen, wo auf das Verwitterungsmaterial wesentlich verdünntere Jodlösungen zur Einwirkung gelangen, sind auf Grund einer rein mechanischen (einschließlich thermischen) Verwitterung wohl im allgemeinen wesentlich geringere Effekte zu erwarten. So fand Cauer, wie Tabelle 4 zeigt, in einem Meeresschlamm vom Subkglferner (3800 m über dem Meere) einen Jodgehalt von 734 γ/kg , dem ein etwa gleicher Jodgehalt eines zugehörigen Ektolites bzw. Granatglimmerschiefers von der gleichen Stelle (808 bzw. 759 γ/kg) entsprach. Bei dem zweiten Beispiel Quarzit—Quarzterde

^{*)} Vgl. v. Fellenberg, loc. cit., S. 281.

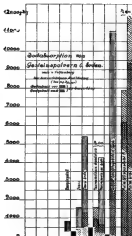


Abb. 4.

tritt demgegenüber ohne Zweifel der Einfluß der chemischen Verwitterung in Erscheinung.

Tabelle 4¹⁰⁾.

	γ/kg
Seigitz (Oetzel, Sulzkogl, 3000 m S. d. M.)	938
Quasanglimmerschiefer (Oetzel, Sulzkogl, 3000 m S. d. M.)	739
Neinzeaschlamm (Oetzel, Sulzkogl/Horner, 3000 m S. d. M.)	784
Quarzit (Daxweiler, Huserück, 800 m S. d. M.)	498
Erde aus Quarzitgeröll gebreitet (Daxweiler, Huserück, 800 m S. d. M., ober Pfaffensteine)	1845

Für die Jodadsorption von zeolithischem Material liefert Gum¹¹⁾ ein wertvolles Beispiel, der die Einwirkung von Jodsalzen (K_2 , NH_4 , Ca , und K_2CO_3) auf Permutit und zwei Erden untersuchte. Aus einer etwa 17 000 γ Jod/J enthaltenden Lösung wurden bei Einwirkung von 25 ccm auf 50 g Permutit bzw. 200 g Erde nach Auswaschen mit 500 ccm destilliertem Wasser an Permutit 30—42% des zugefügten Jodes adsorbiert; für die zwei untersuchten Bodenproben ergaben sich Werte von 21 bis 68 bzw. 18 bis 48%. Die beste Adsorption wurde bei Calciumjodid, die geringste bei Kaliumjodid beobachtet¹²⁾.

Ein schönes Beispiel für mit chemischer (hydraulischer) Verwitterung unter natürlichen Bedingungen parallel gehende Jodanreicherung gibt v. Fellenberg, der einerseits einen Pyrit, andererseits ein demselben Vorkommen entnommenes Brauneisenerz (eiserner Hut) auf den Jodgehalt untersucht hat. Ersteres enthält 300 γ, letzteres 750 γ Jod/kg. Das Eisenerz hatte somit aus der Umgebung erhebliche Mengen Jod aufgenommen. Eine Beobachtung von Cauer, der in einem Taunusquarzit 498 γ/kg feststellte, während eine verwetzte Probe des gleichen Vorkommens 3331 γ Jod/kg enthält, liegt in gleicher Richtung.

Jodbindung in Mineralböden. Es ist von vornherein zu erwarten, daß der Einfluß einer zweisigurtigen Bindungsfähigkeit für Jod durch anorganische Kolloidbestandteile bei Mineralböden besonders deutlich in Erscheinung tritt. Ein Vergleich von schweren und leichten Böden der gleichen Gegend zeigt in der Tat bei ersteren wesentlich höhere Jodgehalte, wie Tabelle 5 zeigt, die einige Jodbestimmungen

¹⁰⁾ Cauer, loc. cit.

¹¹⁾ Gum, Dissert. Techn. Hochschule München 1929.

¹²⁾ Bei dem Permutit lag der Wert für Jodsalzen mit 33% etwas niedriger als der Jodwert mit 50%.

zweiier Rastocker und zweiier Nürnberger Böden von J. Beck, Pflanzenversuche Oppau, enthält.

Tabelle 5²⁷⁾.

Bezeichnung des Feldstückes	Art des Bodens	Jodgehalt in g/kg	
		Untergrund	Oberkrume
Rastow b. Rastock . .	leichter Boden	300	600
Polabow	schwerer .	1 300	1 300
Altenforth b. Nürnberg	leichter .	300	400
Gut Hück	schwerer .	3 500	3 500

Sowohl im Untergrund wie in der Oberkrume treten in beiden Beispielen erhebliche Unterschiede im Jodgehalt in Erscheinung; bei dem schweren Nürnberger Tonboden beträgt er das Zehnfache des leichten Sandbodens.

In analoger Weise sind bei einer Trennung in Grob- und Feinmaterial des gleichen Bodens, wie sie durch einfache Siebung erzielt werden kann, größere Unterschiede festzustellen, wie folgendes der Arbeit von Cauer entnommene Beispiel zeigt (Tabelle 6).

Tabelle 6²⁸⁾.

Art des Bodens	Tiefe m	Bezeichnung des Materials	Ort	g/kg
Schlierenschiefer	0,50	Gesamtanalyse	Fauerbach	1431
	0,50	fein	"	2155
	0,50	groß	"	5815
	1,00	Gesamtanalyse	"	1144
	1,00	fein	"	1915
	1,00	groß	"	3345
Erde, Kies, Lehm				

In diesem Zusammenhang sei ferner einiger Untersuchungen von J. Beck, Forschungslaboratorium Oppau, gedacht, bei welchen der Jodgehalt einiger Kieftenböden mit deren Gehalt an abschätzbareren Bestandteilen in Vergleich gestellt ist. Die Tabelle 7 führt zunächst den ausgesprochenen Gegensatz im

²⁷⁾ Die in den Tabellen 5, 7, 7a, 7b, 8 und 9 gegebenen Zusammenstellungen entstammen einem Referat von J. Beck, „Beiträge zum Studium der Bindungsart des Jods im Boden“, gehalten am 12. März 1929 in Leipzig.

²⁸⁾ Cauer, loc. cit.

Jodgehalt der leichten Zoppeter Böden einerseits und der schweren Marschböden andererseits recht deutlich vor Augen.

Tabelle 7¹⁾.

Bodenart	Entferng. v. Meere in m	Jodgehalt in g/kg	abschlamm- bare Bestandteile < 0,02 mm (in %)
Sandboden (Zoppet) Nr. 1 . . .	1000	760	10,8
Sandboden (Zoppet) Nr. 2 . . .	1000	800	12,5
Marschboden Nr. 1 (Schlamm- Hochteil)	5000	5500	48,2
Marschboden Nr. 2	5000	5000	40,2
Marschboden Nr. 3	5000	5800	48,7
Marschboden Nr. 4	5000	12800	71,2

Im einzelnen geht der Jodgehalt dieser Böden der Menge an abschlammbaren Bestandteilen weitgehend parallel.

Es lag nahe, für die Höhe des Jodgehaltes der Marschböden die feinen Tonteilchen verantwortlich zu machen. Ein orientierender Schlämmeversuch (J. Heck) mit einem (humusarmen) Schluffmergelboden des Oppauer Versuchsgeländes zeigte, daß der hauptsächlich aus Quarz bestehende Schlämmerückstand nur etwa 18—20% des Gesamtjodes enthält, während 68—70% des Jodes sich in den abgeschlammten Tonbestandteilen vorfinden¹²⁾. Eine Wiederholung dieser Versuche mit einer anderen Erde des Versuchsgeländes der Pflanzenversuche Oppau mit einem Jodgehalt von etwa 1100 g/kg unter exakteren Bedingungen (Anwendung des Schlämmeverfahrens nach K o p e c k y - K r a u ß, das eine Zerlegung des Bodens in fünf verschiedene Fraktionen gestattet) zeitigte (s. Tab. 8) folgendes Ergebnis: Der weitaus größte Teil des Jodes entfällt in beiden Parallelversuchen auf die Fraktion a, welche die Teilchen < 0,02 mm enthält. Die übrigen Fraktionen zeigen einen leichten Anstieg nach e hin, doch bleibt selbst die Fraktion d noch stark hinter e zurück. Die Vermutung, daß der hohe Wert im Jodgehalt des Schlämmewassers f von Versuch A auf im Schlämmewasser suspendierte hochdisperse Bestandteile zurückzuführen sei, wurde durch Versuch B bestätigt, bei dem die im Schlämmewasser noch suspendierten Tonkeime durch Zu-

¹²⁾ Die restliche Jodmenge fand sich im Schlämmewasser, das durch Tonkeime noch stark getrübt war.

satz von etwas Calciumnitratlösung weitgehend ausgefüllt wurden.

Tabelle 8^{*)}.

Schluffmargeboden (Gartengründe Oppau). Zwei Schlämungen je 50 g, bezeichnet mit A und B.

Schlämmung A.

Beschreibung der Fraktion	Teilchengröße in mm	Fraktion in g	darin vorhandenes Jod in %	% Jod/kg Substrat	Zusammensetzung nach dem Aussehen
a	2 — 0,2	4,086	0	0	Grobsand, große kohlige Teilchen
b	0,2 — 0,1	4,080	0	0	Grobsand, große Kohleteilchen
c	0,1 — 0,05	5,374	1,5	280	Feinsand, Glimmerblättchen, Wurzelhaaren
d	0,05 — 0,02	6,067	3,2	540	Feinsand mit Schluff
e	< 0,02	24,818	40	1690	Schluff mit Kolloidien
f	wässrig ^{**)}	5,322	0,8	1520	etwas getrübt durch Tonkolloide

Schlämmung B.

a	2 — 0,2	2,518	0	0	Grobsand, große kohlige Teilchen
b	0,2 — 0,1	5,196	0,5	95	Grobsand, große Kohleteilchen
c	0,1 — 0,05	5,282	1,5	290	Feinsand, Glimmerblättchen, Wurzelhaaren
d	0,05 — 0,02	7,228	4,2	600	Feinsand mit Schluff
e	< 0,02	25,158	48	1710	Schluff mit Kolloidien
f	wässrig ^{**)}	4,688	2,5	520	vollkommen klare Lösung

^{*)} durch ein gekörntes Filter filtriert

^{**)} mit $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ -Lösung gewässert und klarer durch ein gekörntes Filter filtriert.

Als die vorstehenden Versuche mit einem Marschboden von etwa 27 000 γ/kg Jod (s. Tab. 9) wiederholt wurden, erwiesen sich überraschenderweise auch die beiden Grob-Fractionen a und b als verhältnismäßig sehr jodreich.

Tabelle 9^{*)}.

Kieselsoden (Brockstedt an Schleswig), teilweise vom Meere über-
flutet. Zur Schlämmung wurden 20 g Erde verwendet.

Bezeich- nung der Fraktion	Teilchen- größe in mm	Fraktion in g	darin ge- fundenes Jod in %	r Jod/kg Substrat	Zusammensetzung nach dem Aus- sehen
a	2 — 0,2	0,349	17	48 700	viel Holz u. Stroh- teilchen, Wurzel- fasern, sehr wenig Grobeand
b	0,2 — 0,1	1,760	157	56 400	wenig Wurzel- fasern, vorwiegend Feinsand
c	0,1 — 0,05	6,220	46	9 500	wenig Feinsand, vorwiegend Schluff
d	0,05 — 0,02	3,642	82	8 800	Schluffe, Kollidation
e	< 0,02	6,152	108	39 700	schwach geröstet
f	wasserd.	2,852	122	42 800	

^{*)} Durch o. a. geübte Peter Hübner, jedoch nicht vollkommen frei von
Toscheln.

Eine mikroskopische Untersuchung zeigte eindeutig, daß die
groben Fraktionen nicht wie bei der Oppauer Erde wesentlich
aus Grobeand bestanden, sondern vorwiegend mehr oder
weniger humifizierte Pflanzenbestandteile enthielten. Durch
Siebung gelang es, diese Fraktionen nahezu quantitativ in
einen organischen und einen mineralischen Teil zu trennen.
Es zeigte sich nunmehr, daß in der Tat der größte Teil des
Jodes dieser beiden Fraktionen an die organischen Bestand-
teile gebunden war. Wir kommen damit zur Frage des An-
teiles der organischen Bodenbestandteile an der Jodbindung
von Böden.

Jodbindung durch Pflanzenreste. Die Bin-
dung des Jodes durch Pflanzenreste und Humusstoffe wurde
bereits durch Versuche von v. Fellenberg schön beleuch-
tet, der, wie erwähnt, feststellen konnte, daß abgestorbenes
Buchenlaub sein Jod sehr sthe festhält. Recht deutlich tritt
der Anteil der Humusbestandteile an der Jodbindung in Böden
in einigen von Camer gegebenen Beispielen in Erscheinung,
wie Tabelle 10 zeigt.

Tabelle 10. Jodbindung durch Pflanzenteile^{*)}.

	mg
Taunusquardt (Daxweiler)	493
Erde zwischen Quarzgeröll, ohne Einfluß einer Pflanzendecke (Daxweiler)	1 845
Erde, offen am Hang, 30 cm unter Heidekraut (Daxweiler)	3 344
Taunusquardt (Selbenschach)	578
Erde, offen am Hang, 40 cm unter Wald (Selbenschach)	4 848
Tertiärer Sand, 6 m Tiefe, hell (Mandel)	3 184
Tertiärer Sand, 8 m Tiefe, rot (Wurzelthre, Mandel)	4 808
Basalt (Breungeshain, Vogelsberg)	559
Basaltbreccie (Breungeshain, Vogelsberg)	1 845
Erde, Wurzel abgestoß (jedoch mit noch seinen Wurzelstücken) (Breungeshain, Vogelsberg)	2 058
Die abgestoßten Wurzeln (Breungeshain, Vogelsberg)	6 338
Erde, aus Querstumpen geschüttelt, im Vorjahre ausgesäen (Breungeshain, Vogelsberg)	4 848
Wurzel dieses Stumpens (Breungeshain, Vogelsberg)	6 408
Gras dieses Stumpens (Breungeshain, Vogelsberg)	18 450
Schieferen.	
Schieferflinkstein noch erhalten im Lehm (Münster, Taunus)	807
Lehm grün, aus Schiefer, vermischt mit organischen Resten, samptig, in 1 m Tiefe entnommen (Münster, Taunus)	2 058
Derselbe, organische Reste nach Möglichkeit entfernt	1 845
Derselbe, die organischen Reste allein	18 180

Bindungsart und Beweglichkeit des Jodes im Boden.

Aus vorstehendem geht hervor, daß Kolloïdium und Humus, die ja auch sonst eine Reihe wichtiger Bodeneigenschaften bedingen, als die beiden Hauptträger für das Jod in Böden zu betrachten sind. Daneben sind gegebenenfalls noch die im Strohstammaterial des Muttergesteines eingeschlossenen Jodmengen zu berücksichtigen.

Der verschiedenen Herkunft des Jodes im Boden und seiner wechselnden Bindungsart entsprechend, die wie gezeigt, teils adsorptiver, teils chemischer Natur sein kann, wird man je nach Art der angewandten chemischen Agentien von der im Boden eingespeicherten Gesamtjodmenge einen mehr oder weniger großen Bruchteil erhalten. Zur Illustration sei auf Abb. 5 sowie Tabelle 11 verwiesen, wo einige von v. Fellenberg gegebene Beispiele wiedergegeben sind;

^{*)} Cauer, loc. cit.

sie mögen zugleich ein orientierendes Bild über Art und mengenmäßige Verteilung des Jodes in Böden geben.

Tabelle 11²⁹⁾.
Bindungsart des Jodes in Böden.

	mg/kg
Wässriger Auszug (anorganisches Jod)	10
Pottascheauszug (adsorbiertes bzw. organisch gebundenes Jod)	880
HCl-Lösung nach Pottascheauszug (von Erdsäuren stammendes Jod)	72
Im Rückstand fest gebundenes Jod (in Salzen eingeschlossenes Jod)	1250
Gesamtjod	2212

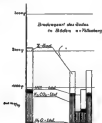


Abb. 5.

Von den Jodvorräten des Bodens kommt für die Pflanze wohl nur der beweglichere, mineralisierte Anteil als unmittelbar aufnehmbar in Frage. Es verdienen danach die Jodmengen eine besondere Beachtung, die im Laufe des Jahres als wasserlösliche Jodverbindungen in die Bodenflüssigkeit gelangen, oder die vom Boden in elementarer Form an die Atmosphäre zurückgegeben werden, worauf wir unten zu sprechen kommen. Da über die Frage, in welchem Maße die nach der

²⁹⁾ v. Fellenberg, loc. cit., S. 535.

einen oder anderen Methode analytisch erfassbaren Jodmengen von der Pflanze nutzbar gemacht werden können, nur wenig bekannt ist, kann hier dieser kurze Hinweis genügen.

Wasserstoffionenkonzentration: Wir kommen weiter zu der Frage, welche Rolle die Wasserstoffionenkonzentration der Böden auf deren Jodgehalt hinsichtlich der Menge und Beweglichkeit ausübt. Hier ist zu bemerken, daß ihr Einfluß in zweifacher Richtung sich äußert. Es wurden oben die Beobachtungen von v. Fallenberg erwähnt, wonach saures Gesteins- und Erdmaterial Jodionen besser absorbiert als basisches. Falls für den Jodgehalt der Böden hauptsächlich ihr Adsorptionsvermögen entscheidend wäre, müßte man bei sauren Böden einen durchschnittlich höheren Jodgehalt erwarten als bei neutralen oder alkalischen Böden. Dies trifft indessen nicht allgemein zu. Köhler kommt zwar auf Grund einer Zusammenstellung der von ihm untersuchten Löss-, Lehm- und Tonböden nach den pH -Zahlen über und unter 7 bzw. 3,5 zu der Folgerung, „daß die mehr neutralen und alkalischen Böden einen etwas höheren durchschnittlichen Jodgehalt aufweisen“. Die Unterschiede im Jodgehalt waren bei ihm indessen nicht sehr beträchtlich (12—23%) und Köhler selbst möchte im Hinblick auf die wechselnden, den Jodgehalt der Böden beeinflussenden Faktoren sein Ergebnis nicht verallgemeinert wissen. Wir gehen wohl nicht fehl, wenn wir, worauf auch Köhler bereits hinweist, hier in der Verschiedenheit des Humusgehaltes, der relativen Schwankungen zwischen 18 und 39% aufweis, den überwiegenden Faktor erblicken (vgl. auch Abb. 2). Doch spielt hier offenbar noch ein anderer Faktor mit hinein, das Jodabspaltungsvermögen der Böden, auf das wir im Nachstehenden zu sprechen kommen. Da letzteres, wie wir sehen werden, stark von der Wasserstoffionenkonzentration abhängt, haben wir es hier also mit einer mittelbaren Wirkung der Wasserstoffionen auf das Jodspeicherungsvermögen der Böden zu tun.

Jodabspaltungsvermögen der Böden: Jod wird nicht allein aus der Atmosphäre dem Boden zugeführt und darin aufgespeichert, sondern auch in mehr oder weniger großen Mengen an die Atmosphäre wieder zurückgegeben. Es ist dem Analytiker bekannt, daß in sauren Lösungen Jod als Jodwasserstoff verhältnismäßig flüchtig ist. Das Jodabspaltungsvermögen des Bodens besteht demgegenüber in seiner Fähigkeit, Jodionen in elementares Jod überzuführen, das in

dieser Form leicht in die Atmosphäre entweichen kann. Auf Grund der in Frage kommenden Reaktionen kann erwartet werden, daß katalytische Umsetzungen dieser Art, da sie wohl die intermediäre Bildung von Jodwasserstoff voraussetzen, an das Auftreten einer sauren Reaktion des Bodens gebunden sind. Die mehr oder weniger starke Abhängigkeit von der Wasserstoffionenkonzentration der Böden wird damit verständlich.

Die grundlegenden Feststellungen über das Entweichen von Jod aus Erden gehen auf v. Fellenberg zurück. Die ziemlich umfangreichen Untersuchungen ergaben, daß gedüngte und ungedüngte Böden einerseits und ferner Böden mit und ohne Vegetationsdecke sich bezüglich der an die Atmosphäre abgegebenen Jodmengen deutlich unterscheiden, und ferner, daß Mikroorganismen oder von diesen gebildete Enzyme ohne wesentlichen Einfluß sind. Das Jodbepaltungsvermögen wird vielmehr wesentlich bestimmt durch anorganische Katalysatoren, hauptsächlich Eisen- und Manganverbindungen; so weisen beispielsweise geglühte Böden ein stärkeres Jodbepaltungsvermögen auf als natürliche Böden.

Versuche, bei welchen Bodenproben teils unter anaeroben, teils unter halbaeroben, teils unter aeroben Bedingungen gehalten wurden, zeigten ferner, daß die Jodentwicklung an die Gegenwart von Luft geknüpft ist. Die scheinbare Zunahme der katalytischen Wirkung von Tag zu Tag vermochte v. Fellenberg dadurch zu erklären, daß von dem in Freiheit gesetzten Jod ein großer Teil durch vorhandene organische Bestandteile (z. T. Reste der infolge der Jodwirkung abgetöteten Mikroorganismen, die allmählich jodiert wurden) gebunden wird. Die Herabsetzung des Jodbepaltungsvermögens von Böden nach Verbreiung von Dung ist hierdurch zwanglos erklärt.

Die Untersuchung einer Anzahl von Argauer Mergel und Erden auf ihre Jodentwicklung beim Überleiten von Luft nach Benetzen mit Jodkaliumlösung (s. nachstehende Tabelle 13 sowie Abb. 6) ergaben erhebliche Differenzen in der katalytischen Wirkung. Eisenessig saure Walderde, $pH = 5,03$, zeigte ein wesentlich höheres Jodbepaltungsvermögen als alkalische Böden mit pH -Werten zwischen 8—8,37. Die verwitterten Gesteine zeigten übrigens in der Mehrzahl der Fälle ein geringeres Jodbepal-

Tabelle 12^{*)}. Jodentwicklung aus mit KJ versetzten Aargauer Mergeln und Erden. Entwickeltes Jod in %:

	Aargauer Mergeln		Mergelgemische		nach Silberzusatz aus Aargauer Mergeln	
	Gramm	Prozent (aus 100 g. Jod)	Gramm	Prozent (aus 100 g. Jod)	Gramm	Prozent (aus 100 g. Jod)
1. Tag	5,0	5,1	60	4,8	60	506
2. Tag	12,0	10,4	120	4,4	120	514
3. Tag	20,0	8,0	110	3,1	71	333
4. Tag	20,0	7,2	—	2,9	112	475
5. Tag	—	7,0	270	7,0	70	585

Jodentwicklung aus Aargauer Mergeln, Erden,
mit 2% KJ versetzt nach v. Pelienberg.

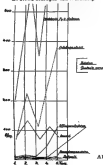


Abb. 6.

^{*)} v. Pelienberg, loc. cit. S. 248.

ungsvermögen als die entsprechenden Erden, eine Eracheitung, die v. Fellenberg mit dem hohen Dispersitätsgrad der Erden in Verbindung bringt, der trotz ihres Gehaltes an organischer Substanz in der Wirkung überwiegt.

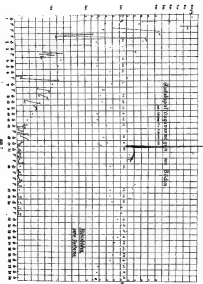
Die Versuche von v. Fellenberg erfuhren eine wertvolle Ergänzung durch K. Scharrer¹⁰⁾, der das Jodabspaltungsvermögen einiger pedologisch typischer Böden geprüft hat. Scharrer konnte die v. Fellenberg'schen Ergebnisse in allen wesentlichen Punkten bestätigen. Die Feststellungen v. Fellenbergs und K. Scharrers sind in Abb. 7 graphisch zur Darstellung gebracht. Die enormen Unterschiede im Jodabspaltungsvermögen verschiedener Böden springen deutlich in die Augen. Auch die Vertieflichkeit dieser Eigenschaft mit der Zeit ist meist recht auffällig. Weniger deutlich tritt der Einfluß des pH hervor, was wohl damit zusammenhängt, daß sich zumeist die Wirkungen verschiedener Faktoren überlagern.

Im einzelnen fand Scharrer bei Mineralböden mit saurer Reaktion eine sehr hohe, bei solchen mit neutraler oder alkalischer Reaktion meist überhaupt keine Jodabspaltung. Bei sauren Hochmoorböden war offenbar infolge Bindung des freigesetzten Jodes an organische Substanzen keine Jodentwicklung festzustellen. Lehm- und Tonböden zeigten ein höheres Jodabspaltungsvermögen als Sandböden von der gleichen sauren Reaktion. Durch Auskochen mit überschüssiger Salzsäure konnte ein stark alkalischer Boden aktiviert werden, auch durch Behandlung mit anderen Stoffen (Phenol und Aluminiumchloridlösungen) konnte bisweilen eine Erhöhung der Jodabspaltung erreicht werden.

Die Ergebnisse der bisher vorliegenden Versuche über das Jodabspaltungsvermögen von Böden lassen sich dahin zusammenfassen, daß dieses gefördert wird durch hohe Wasserstoffionenkonzentration, einen Gehalt an hochdispersen anorganischen Stoffen, insbesondere an Eisen- und Manganverbindungen. Die Anwesenheit organischer Substanzen setzt infolge starker Jodbindung die Wirkung herab; bei sehr hohem Gehalt des Bodens an organischen Stoffen kommt bisweilen die Jodabspaltung überhaupt nicht zur Auswirkung.

Böden mit starker katalytischer Kraft speichern im allgemeinen weniger Jod als solche mit schwacher Wirkung.

¹⁰⁾ K. Scharrer, *Biochem. Ztschr.* 200, 256 (1925).



Adsorptionsvermögen und Jodabspaltungsvermögen, ihrerseits bedingt durch den Vorrat des Bodens an Kolloiden und Humusbestandteilen einerseits und durch den Gehalt an hochdispersen, katalytisch wirksamen Schwermetallverbindungen andererseits, bestimmen, wie gesagt, in ihrer Wechselwirkung den Jodgehalt unserer Böden hinsichtlich Menge, Art und Beweglichkeit. Die Wirkung der Wasserstoffionenkonzentration auf das sich dabei einstellende Redoxgleichgewicht dürfte dabei wesentlich eine ausgleichende sein.

Verteilung des Jodes im Bodenprofil

Im Hinblick auf die Bestrebungen der modernen Bodenkunde, den Auslaugungsvorgängen im Boden und den dabei sich bildenden Horizonten besondere Aufmerksamkeit zu widmen, sei nunmehr auf die profilmäßige Verteilung des Jodes eingegangen. Köhler, der bei seinen Bodenanalysen vielfach auch den unter der Pflugschale liegenden Untergrund auf seinen Jodgehalt untersucht hat, findet den Jodgehalt der Oberfläche in den meisten Fällen höher als den des Untergrundes und folgert aus diesem Analysebefund, daß normalerweise der Jodgehalt des Bodens nach der Tiefe abnimmt. Beck macht ähnliche Feststellungen.

Bei stärker podsollierten Böden ist zu erwarten, daß die Zone maximaler Jodanreicherung in etwas größere Profiltiefe absinken kann.

Einige wertvolle Beispiele von Profilaufschlüssen größerer Tiefe gibt Cauer (siehe Tab. 18).

In einer seither von mir veranstalteten, im Forschungslaboratorium Oppau durchgeführten, systematischen kleinen Studie über die Jodverteilung in einigen typischen Bodenprofilen, die von K. Schlächt ausgewählt und in morphologischer Richtung studiert und analytisch von J. Beck charakterisiert wurden, tritt der Einfluß des Bodenbildungsprozesses auf die Jodverteilung besonders deutlich in Erscheinung²²⁾. Das Ergebnis dieser Untersuchungen ist auszuweisen in der folgenden Tabelle wiedergegeben, in welcher zwölf typische Bodenprofile aus Schwarz-Weiß-Rhönstein und der Rheinpfalz nebeneinandergestellt sind.

²²⁾ Über diese Untersuchungen wurde von K. Schlächt gelegentlich der diesjährigen Pflanztagung der 5. Kommission der Internationalen Bodenkundlichen Gesellschaft in Daudorf vorgetragen. Eine ausführliche Veröffentlichung dieser Arbeit steht bevor.

Tabelle 13.

Art des Bodens	Tiefe m	Ort	γ/kg
Tuff		Hausen, Baumgrube	876
Ockerkrum, Tuff- und Basalt- verwitterung		"	8604
Tuff- und Basaltverwitterung	0,50	"	8 553
Tuff- und Basaltverwitterung, gelb, sandig (Gerölle)	1,00	"	1 750
Boyer Lehm mit Tuffsteinen	1,50	"	8 283
Ockerkrum, Basaltverwitterung		Hausen, Kirchhof	8 424
"	0,50	"	8 698
"	1,00	"	1 998
Erde, Kies, Lehm mit viel Schiefersteinchen	0,50	Fauerbach	1 481
"	1,00	"	1 144
"	1,50	"	1 818
Lehm, weiß	1,50	"	807
Lehm, rot	1,50	"	807

Tabelle 14.

Die Verteilung des Jods in verschiedenen klimatischen Bodentypen.

Ortsein- u. Kulturort	Bodentypus	Bodenart	Mittelwert		Jod- gehalt γ/kg
			Boden- tiefe (cm.)*	Tiefe in cm	

I. Fuchserdeartige Böden.

A. Marschböden (Bredstedt in Schleswig).

I. Junge Marschböden					
1) Jünger Marschboden Vor Ockerkrum - Kopp	Grundwasser- höhe, un- terschiedlich	lockiger Sanden	A C	0-10 40-50	20 500 28 000
2) Jünger Marsch - Kopp, 1897 % Jod, etwa 8 kg v. M.	lockere, un- terschiedlich	sandiger Schlick	A C	0-10 40-50	8 500 9 500 8 400
II. Ältere Marsch mit be- trächtlicher Umlagerung der Alteken					
3) Ältere Marsch - Kopp, 1897 % Jod, ca. 2 kg v. M.	lockere, un- terschiedlich	lockiger Schlick	A C	0-10 40-50	8 500 8 200
III. Alte Marsch mit be- trächtlicher Umlagerung der Erdekrumkrum und starker Wässerung der Marschböden					
4) Ältere Marsch - Kopp, 1897 % Jod, ca. 2 kg v. M.	lockere, un- terschiedlich	lockiger Schlick, schon etwas stark verunreinigt	A C	0-10 40-50	8 500 8 200

*) Jahr der Entnahme.

Bei den Marchbödenprofilen weist in frisch eingedeckten Gebieten der oberste Horizont den höchsten Jodgehalt auf, während bei den älteren Böden meist die tieferen oder mittleren Schichten einen höheren Jodgehalt zeigen als die oberen Bodenhorizonte. Die Abhängigkeit des Jodgehaltes der Oberkrume vom Alter der Böden tritt besonders in der in Tabelle 7 b gegebenen Zusammenstellung deutlich hervor.

Es nimmt das Jod offenbar in ähnlicher Weise an den durch den Podsolierungsprozeß bedingten stöflichen Transporten teil, wie es für die Eisen beim Bodenbildungsprozeß bereits bekannt ist.

Verteilung des Jodes in Abhängigkeit von den geographischen Faktoren.

Entfernung vom Meere: Von Le Chatin wurde seinerzeit die Anschauung vertreten, daß mit der Entfernung vom Meere ein Abklingen des Jodgehaltes der Böden eintrete. Um Jod deutlich nachweisen zu können, benutzte Le Chatin beispielsweise von einem Ackerboden aus der Pariser Gegend 1—2 g, von einem aus Grenoble 4 g, und einem solchen aus Aosta 10 g.

Ein flüchtiger Blick auf Abb. 2, auf welcher die meeresnahen Böden (bis 50 km Entfernung vom Meere) durch einen senkrechten Strich markiert sind, scheint diese Auffassung zu bestätigen; denn in der Tat finden sich extrem hohe Jodgehalte von etwa 10000 μ /kg und darüber nahezu ausschließlich bei Küstenböden. Es spielen hier jedoch ohne Zweifel eine Anzahl anderer Faktoren mit herein, die eine strenge Vergleichbarkeit mit den bisher untersuchten Böden des Binnenlandes erschweren, wie das Vorwiegen von Schlick- und Niederungsmoorböden mit sehr hohen Gehalten an hochdispersen Ton- und Humuskolloiden. Nach Kähler läßt sich an Hand seiner Untersuchungen nur bei Löß ein verhältnismäßig deutlicheres Abklingen der Jodmengen mit der Meerestferne feststellen. Bei allen anderen Bodengattungen ließ sich eine derartige Gesetzmäßigkeit nicht auffinden. Kähler bezweifelt auch, daß selbst bei wesentlich umfangreicheren Untersuchungen ein einwandfreies klares Ergebnis gewonnen werden könne, da die Höhe des Jodgehaltes durch vielfach Faktoren beeinflusst werde.

Daß übrigen besonders hohe Jodgehalte selbst bei moererenahen Böden keineswegs die Regel bilden, vielmehr auch dort ähnlich große Differenzen zu beobachten sind, wie sie im Innern des Festlandes angetroffen worden, erhält aus dem bereits erwähnten Beispiel einiger Böden aus der Zap-poter Gegend (s. Tabelle 7 a).

Tabelle 7a^{*)}.

Nr.	Entfer-nung vom Meer in Meter	Jod-gehalt in γ/kg	Abschlämmbares in %		Jodgehalt in mg/kg	pH	% CaCO ₃	Art der Düngung
			0,05 mm	0,02 mm				
	(100-150) ²⁾	(17 500) ²⁾						
1	880	2 300	20,2	14,6	1,42	7,26	6,55	Stallmist
2	1 000	880	19,2	12,8	1,26	7,24	6,29	
3	1 000	780	18,8	10,6	2,21	6,42	6,16	Seetang†)

^{*)} Analysen von Seckman (Dtsch. anorg. Chem. 48, 10, 1917).

†) Jodgehalt 40 000 γ/kg Trockensubstanz²⁾

Ähnliche bedeutende Schwankungen im Jodgehalte ergaben sich bei zwei Marscherden aus der Wassermarsch, von denen der eine etwa 12 000 γ/kg enthält, während bei einer anderen einer benachbarten Stelle entnommenen Probe nur 3800 γ/kg gefunden wurden.

Sehr deutlich erkennbar ist die unmittelbare Einwirkung bei Überdüngung durch das Meer, wie das Beispiel der bereits erwähnten schleswig-holsteinischen Marschböden (s. Ta-belle 7 b) deutlich zeigt.

Im übrigen überlagern sich offenbar auch hier die Wirkun-gen einer Anzahl anderer Faktoren (Menge der adsorptions-fähigen Bestandteile, Alter der Küge, Grundwasserführung, letztere u. a. auch bedingt durch Unregelmäßigkeiten in der Bodenschichtung und damit Wasserdurchlässigkeit der Boden-schichten, Art der Bodenkultur, Acker- bzw. Weideland usw.), die in ihrem Zusammenwirken innerhalb des Raumes von

^{*)} Vgl. W. Gamm u. R. Griesbach, loc. cit., S. 415/16.

²⁾ Die in Tabelle 7a gegebene Zusammenstellung zeigt zugleich den geringen Effekt einer Zudosierung von Jod. Die regelmäßige Indu-sufuhr durch Seetang zeigt bei diesem leichten Boden keinen Effekt.

einer Quadratmille Unterschiede im absoluten Jodgehalt in der Oberkrume zwischen 2000 und 28500 γ/kg bedingen.

Diese Beobachtungen legen den Schluß nahe, daß der unmittelbare Einfluß des Meeres nach dem Binnenlande zu sehr rasch abklingt.

Tabelle 26^{*)}.
Jodgehalte der Oberkrumen von einigen Marschböden.

Koog mit Kulturart	Eindeich- jahr	Entfernung v. Meer in km	Jodgehalt in γ/kg Boden
Außendeich-Vorland, Weide . . .	zeitweises v. Meere überflutet		28 500
Stake-Niesekoog, Acker	1852	2	5 500
Obfliekenkoog, Weide	1866	2	5 500
Sophienmagnätsenekoog, Weide . . .	1742	2	4 500
Ökholmer, Innenraste des Außen- deiches, Weide	1860	0,2	5 500
Ökholmer, nach Stake-Niesekoog, Weide	1849	2	5 500
Kretzstedt, Weide	ca. 1790	2	2 500

Höhenlage: Es ist mehrfach ein gewisser Parallelismus zwischen Höhengliederung eines Landes und Kropfverbreitung behauptet worden (beispielsweise neuerdings von Hauke für Schlesien und schon früher von Hussiker^{**)} für die Schweiz). Das bisher vorliegende Analysematerial gestattet nicht, ein umfassendes Bild darüber zu geben, ob in größeren Höhenlagen durchschnittlich geringere Jodgehalte der Böden angetroffen werden als im Flachlande. Auf Grund der von v. Fellenberg errechneten Höhenkurve über die Jodverteilung in der Atmosphäre könnte man dazu neigen, in großen Höhen wesentlich geringere Jodgehalte der Böden anzunehmen. Um so interessanter sind Jodbestimmungen des gleichen Forschers^{**)} an einigen in sehr großen Höhen (2000 bis 3000 m) gesammelten Bodenproben (vgl. nachstehende Zusammenstellung):

^{*)} H. kommt auf Grund seiner Karte zu der Feststellung, daß der Kropf in der Höhenlage von 500—1000 m in der Schweiz relativ am häufigsten angetroffen sei, während er in größerer Höhe wieder abnimmt. (Vgl. Korrespondenzbl. f. Schweizer Ärzte 45, 725 [1918]).

^{**)} v. Fellenberg, loc. cit., S. 223.

g/kg

Eine einer Feldspalte, 300 m unter dem Gipfel des Ägypten-
barnes in 3000 m Höhe entnommene Erdprobe enthält . . . 1320
Eine Amphibolherde des Gaispfades aus 2475 m Höhe enthält 3150
Eine Malmerte von der Höhe des Kienigpases (2075 m) enthält 5660

v. Fellenberg folgert aus diesen Beobachtungen, daß auch in großer Meereshöhe ganz beträchtliche Jodmengen in der Atmosphäre vorhanden sind, wenn sie auch die in den Niederungen vorhandenen Mengen nicht erreichen, und erblickt darin ein Beispiel, „wie wunderbar solche kummersüchtige Erde das ihr zukommende Jod aufzuspeichern und anzureichern vermag“.

Soweit diese wenigen bisher bekanntgewordenen Beispiele schon ein Urteil zulassen, so geht daraus hervor, daß selbst unter diesen extremen Bedingungen, wo Erden einer sehr starken Auswaschung ausgesetzt sind, eine positive Jodbilanz anzutreffen ist.

Jodhaushalt der Böden.

Wir haben bisher gesehen, daß die Böden bei dem Kreislauf des Jodes in der Natur eine bevorzugte Stelle einnehmen und daß beim Bodenbildungsprozeß dieses Element sich in bestimmten Horizonten anreichert. Unter natürlichen Bedingungen wird hierbei offenbar ein stationärer Gleichgewichtszustand erreicht. Das Maß der gegenüber den Muttergesteinen erzielten Jodanreicherung wie auch die Beweglichkeit der gespeicherten Jodvorräte wird, wie wir gesehen haben, teils durch allgemeine (klimatische und geographische) Faktoren, teils durch individuelle Eigenschaften der Böden, insbesondere ihren Gehalt an adsorptionsfähigen sowie an katalytisch wirksamen Stoffen bestimmt.

Jodzufuhr durch Niederschläge: Im Laufe der bisherigen Darlegungen haben sich auch mehrfach Hinweise ergeben hinsichtlich der Quellen, aus denen die teilweise recht bedeutenden Jodvorräte unserer Böden stammen. Die unerschöpfliche Quelle, aus der diese Vorräte immer wieder ergänzt werden, ist wie erwähnt, die Atmosphäre und damit letzten Endes das Meer.

Es ist nicht ohne Interesse, die Jodmengen zu ermitteln, welche unseren Boden alljährlich mit den Niederschlägen zugeführt werden. Auf Grund der bisher vorliegenden Analysenunterlagen (s. nachstehende Tabelle) berechnet sich unter Berücksichtigung der örtlichen Regenhöhen diese Jodaufuhr zu 500–2000 γ/qm ; auf den Hektar berechnet ergibt dies Jodmengen von 9–30 g; ein Mittelwert von etwa 12 g dürfte danach nicht zu hoch gegriffen sein.

Tabelle 16^{*)}. Jod in Niederschlägen.

Author	Ort	Jod im Liter	Jährliche Regenmengen des Ortes in mm	Jodaufuhr im Jahr pro qm Boden- fläche (in γ)
v. Fallenberg . . .	Barn (8 Stationen)	0,62 bzw. 1,42	fast 1000	— 600 bzw. 2400
Heymann	Holland	2,2	zwischen 500 u. 700	1000–1500
v. Wirsing-Ebting	Hohenheim	2,67	500	2200
I. G. Led- wigshafen	<div style="display: inline-block; vertical-align: middle;"> <div style="display: inline-block; vertical-align: middle;">1892</div> <div style="display: inline-block; vertical-align: middle;">1893</div> </div> <div style="display: inline-block; vertical-align: middle;"> Oppen Limburgerhof Oppen Limburgerhof </div>		500	5000 2700 1200 1200
			500	2500
			500	5000
			500	1400
			500	

Einfluß der lebenden Pflanzendecke auf den Jodhaushalt der Böden.

Weniger einfach liegen die Verhältnisse für die durch Vermittlung der lebenden Pflanzendecke festgehaltenen Jodmengen. Es hängt dies damit zusammen, daß die Pflanze mit dem Boden in einer engen Wechselwirkung steht, indem sie ihm teils Jod entzieht, teils Jod in organischer Bindung mit ihren abgestorbenen Teilen wieder zuführt.

Das Sickerwasser ist im Sommer, wo der Boden unter Einwirkung der lebenden Pflanzendecke steht, jodärmer als im Winter; dies zeigt, daß die Auslaugung des im Laufe des Jahres im Boden mineralisierten Jodes, wie sie durch das Grundwasser erfolgt, herabgesetzt wird. Daß andererseits, wie

^{*)} Vgl. W. Gans u. E. Griesbach, loc. cit., S. 397.

neuerdings v. Wrangell sehr schön zeigen konnte, Versuchspflanzen, die über einer Rasendecke aufgestellt waren, wesentlich weniger Jod enthielten als auf offenem Boden wachsende Pflanzen, ist weiter in dem Sinne zu deuten, daß die Pflanzendecke erhebliche Mengen des vom Boden an die Atmosphäre in elementarer Form zurückgegebenen Jodes zurückhält. Unter natürlichen Bedingungen, wo die abgestorbenen Pflanzenreste dem Boden wieder zugute kommen, muß beides in Richtung einer Verbesserung der Jodbilanz unserer Böden wirken.

Die erwähnte Befürchtung von Schröder läßt nun offenbar auf die Frage hinaus, ob bei unseren Ackerböden, insbesondere unter den Bedingungen einer intensiven Bewirtschaftung, wo ein großer Teil oder selbst die Hauptmenge der Ernteprodukte samt dem darin enthaltenen Jod weggeführt wird oder doch nur zum Teil in Form von Stallmist auf den Acker zurückkehrt, nicht durch diese ständigen Jodverluste die unter natürlichen Verhältnissen positive Bilanz unserer Böden empfindlich gestört wird. Es scheint deshalb auch hier wichtig, ein zahlenmäßiges Bild zu gewinnen.

Jodentzug unserer Kulturpflanzen. Die dem Acker durch eine Ernte entzogenen Jodmengen sind, wie nachstehende Tabelle zeigt, verhältnismäßig klein: 0,2 bis etwa 3 g je ha. Sie betragen nur einen geringen Bruchteil des Jodkapitals unserer Ackerböden. Da einem Jodgehalt von 1000 γ /kg Boden ein Jodvorrat von etwa 3 kg Jod je ha entspricht, so folgt, daß die Jodvorräte selbst verhältnismäßig jodarmer Böden etwa das 100fache des jährlichen Jodentzuges durch die Ernte betragen. Die meisten Böden enthalten, wie wir gesehen haben, wesentlich höhere Jodmengen (im Durchschnitt 2000 bis 3000 γ /kg Boden).

Es reichen übrigens bereits die alljährlich mit den Niederschlägen zugeführten Jodmengen aus, um den Jodentzug einer Ernte unserer Feldfrüchte mehrfach zu decken.

Weiter kommt hinzu, daß der Pflanze erhebliche Jodmengen mit der Assimilationsluft zugeführt werden. Rechnet man für eine mittlere Höhenlage mit einem Durchschnittswert von 0,65 γ /cbm Luft und berücksichtigt, daß zur Bildung von 1 kg Trockensubstanz die Pflanze den CO_2 -Gehalt von 2500 bis 3000 cbm Luft verbraucht, so errechnen sich die der Pflanzen-

decke mit der Assoziationsstufe zugeführten Jodmengen, wenn man die je Quadratmeter produzierte Masse an Trockensubstanz mit 0,3—1,0 kg voranschlagt, zu 300—1500 γ /qm, d. s.

Tabelle 18^{*)}.

Jodentzug durch die Ernte bei landwirtschaftlichen Kulturpflanzen.

Pflanzensort		Jodgehalt in γ /kg Trockensubstanz	Jodentzug in g/ha	
Hafer	Körner	50 (Op.) 130 (Sch.)	0,055 0,331	1,167 } 1,305
	Stroh	550 (Op.) 360 (Sch.)	1,75 0,926	
Sommersensle	Körner	90 (Sch.)	0,195	1,203
	Stroh	560 (Sch.)	0,16	
Kartoffeln	Knollen	11—25 (F.) 16 (Wr.) 90 (Sch.)	bis 0,15	0,35
		5 (Op.)		
		230 (Op.)	0,22	
	Kraut	7 (Wr.) 180 (Sch.)	0,013 bis	0,061 bis 0,25
		2 (Op.)	1,57	
Zuckerrüben	Kraut	30 (Wr.) 230 (Sch.)	0,043 bis	
		160 (Op.) 117 (Sch.)	1,55 1,75	
	Wurzel	18 (Op.) 127 (F.)	0,075 1,015	0,230 bis 1,245
	Kraut	170 (Op.) 133 (F.)	0,213 0,239	
Erbsen	Samen	110 (Sch.)	0,14	1,15
	Stroh	810 (Sch.)	1,04	
Bodenschau		300	1,37	
		630 (Sch.)	2,33	
Luzerneheu		560 (Sch.)	2,58	
Wiesenheu		47 447 (F.)	0,10 bis	
		30 (Op.)		
		670 (Sch.)	2,55	

F. = v. Fellesberg, Op. = Oppau, Sch. = Scharrer, St. = Stoklaus, Wr. = v. Wrangell.

^{*)} Vgl. W. Gauss u. R. Griebbach, loc. cit., Tabelle 3.

5—15 g je ha. (Ehling⁴⁰⁾) kommt für Höhenheimer Verhältnisse auf Grund einer ähnlichen Rechnung für eine Futterrüben-ernte zu 4,27 g Jod je ha). Auch diese Jodmengen würden also für sich allein bereits ausreichen, den „Jodbedarf“ unserer Kulturpflanzen zu decken.

In der nachstehenden Tabelle „Jod-Bilanz“ sind diese Zahlen einmal übersichtlich nebeneinandergestellt. Der Vollständigkeit halber sind auch die mit handelsüblichen Düngemitteln⁴¹⁾ einheimischer Erzeugung zugeführten Jodmengen mitvermerkt.

Tabelle 17⁴²⁾. Jod-Bilanz des Ackerbodens.

Der Jodvorrat der Kulturböden beträgt etwa 1000 bis 50 000 g/ha, im Durchschnitt	2000—3000 g/ha
Die mit den Niederschlägen jährlich zugeführte Jodmenge beträgt 2—30 g/ha, im Durchschnitt	12 g/ha
Die mit der Assimilationsluft zugeführte Jodmenge, bezogen auf eine Pflanzenproduktion von 3000 bis 6000 kg Trockensubstanz, beträgt etwa	5—15 g/ha
Dem steht gegenüber ein jährlicher Jodeintrag durch die Ernte von	0,3—3 g/ha

Jodeintrag durch Düngemittel einheimischer Erzeugung:

4000 kg Stallmist (auf 5 Jahre), 1,5 g. d. l. Jod/ha	0,55 g/ha
350 kg Ammoniumsalz	0,09 g/ha
250 kg Superphosphat, 2,1 bis 5,5 g. im Durchschnitt . . .	2,5 g/ha
300 kg 40-%iges Kalisalz	0,12 g/ha
400 bis 1000 kg Kalk, 0,05 bis 2,5 g. im Durchschnitt . . .	1,12 g/ha
400 kg Nitrophoska	0,12 g/ha

Aus der Gegenüberstellung geht hervor, daß unseren Kulturpflanzen jedenfalls ein Vielfaches ihres Jodbedarfes zur Verfügung steht und daß die Befürchtung, unsere Kultur-

⁴⁰⁾ Ehling, „Über die Quellen der pflanzlichen Jodversorgung“, Dissert. Stuttgart 1928.

⁴¹⁾ Die durch zugeführten Jodmengen sind im Vergleich mit den Pflanze und Boden zur Verfügung stehenden vorerwähnten Jodquellen verhältnismäßig bescheiden. Über den Einfluß von Düngemaßnahmen auf den Jodgehalt der Böden und insbesondere die Frage der Speicherung größerer Gaben von ungedüngtem Jod liegen nur wenige Beobachtungen widersprechender Art vor. (Vgl. u. a. Guss, loc. cit.)

⁴²⁾ Vgl. W. Guss u. R. Griebach, loc. cit., S. 359.

böden künden durch den jährlichen Jodentzug durch die Ernte an Jod verarmen, zum mindesten allgemein unbegründet ist.

Zusammenfassung.

In dieser Darstellung habe ich versucht, einen Überblick zu geben über die bodenkundliche Seite der Jodfrage. Es wurde gezeigt, daß unsere Böden bei dem Kristalle des Jodes an der Erdoberfläche einen bevorzugten Platz einnehmen insofern, als sie eine Anreicherungszone für das Jod der atmosphärischen Quellen darstellen, das letzten Endes dem Meere entstammt. Für die Einspeicherung des Jodes im Boden sind vor allem die kolloidalen Ton- und Humusbestandteile sowie hochdisperse katalytisch wirksame anorganische Verbindungen von Bedeutung. Sie bestimmen das Jodadsorptionsvermögen sowie das Jodabspaltungsvermögen des Bodens und damit wesentlich Menge und Beweglichkeit seines Jodkapitals. Daneben wirkt bei dem sich ausbildenden stationären Gleichgewichte noch eine Anzahl anderer Faktoren mit, unter denen die Wasserstoffionenkonzentration offenbar einen gewissen ausgleichenden Einfluß ausübt.

Von den äußeren Faktoren wurden die geographischer und klimatischer Art als bestimmend für die besondere Ausbildung der Anreicherungszone von Jod im Bodenprofil gewürdigt. In tertiärcoastartigen Böden reichert sich das Jod in der Ackerkrume an, während es mit zunehmender Pedalisierung in die Illuvialzone wandert. Der Einfluß der Entfernung vom Meere auf den Jodgehalt der Böden ist nur in einer äußerst schmalen Küstenzone erkennbar, während noch dem Binnenlande zu die Wirkung offenbar rasch abklingt.

Schließlich wurde der Einfluß der lebenden Pflanzendecke auf den Jodhaushalt des Bodens betrachtet. An Hand einer zahlenmäßigen Bilanz wurde hierbei gezeigt, daß die Befruchtung, unseren Kulturpflanzen künden nur ungenügende Jodmengen zur Verfügung stehen und unsere Kulturböden durch den jährlichen Jodentzug durch die Ernte an Jod verarmen, zum mindesten allgemein unbegründet ist. begründet ist.

Das Jod bei der Pflanzenernährung.

Von Direktor Dr. h. c. F. Srodesa, Ludwigshafen a. Rh.

Die Landwirtschaft wurde auf die Jodfrage, die bis dahin in der Hauptsache nur medizinische Kreise beschäftigt hatte, aufmerksam gemacht, nachdem vor allem Siedknecht¹⁾ in seinen Veröffentlichungen über die physiologische Bedeutung des Jodes im pflanzlichen und tierischen Organismus die landwirtschaftlich interessierenden Teilprobleme angeschnitten hatte. Dabei fand seine Behauptung, man könne mit Hilfe einer Stimulationswirkung des Jodes auf die Pflanze erhebliche Ertragssteigerungen erzielen, besondere Beachtung. In den letzten Jahren haben sich daraufhin zahlreiche wissenschaftliche Stellen mit der Frage, welche Stellung das Jod bei der Pflanzenernährung einnimmt, eingehend beschäftigt und wertvolle Arbeiten in dieser Richtung veröffentlicht. Ihre Ergebnisse möchte ich nur kurz Ihrem Gedächtnis zurückerufen, als Ergänzung aber weiteres Material bekanntgeben, das durch die landwirtschaftlichen und wissenschaftlichen Forschungsstellen der I. G. Farbenindustrie Aktiengesellschaft — Ludwigshafen gefunden und ausgearbeitet wurde.

Dabei möchte ich zunächst folgendes vorausschicken: Die Frage, ob das in den landwirtschaftlichen Kulturpflanzen enthaltene Jod nur als Ballaststoff eingespeichert wird, oder ob ihm eine bestimmte Funktion zukommt, kann mit den uns heute zur Verfügung stehenden Hilfsmitteln noch nicht einwandfrei entschieden werden. Ihre endgültige Beantwortung wäre möglich, wenn man unter Ausschaltung aller Fehlerquellen und Wachstumsstörungen Kulturpflanzen in völlig jodfreiem Medium neben solchen, die unter normalen Bedingungen wachsen, heranziehen könnte. Entsprechende Mangelerkrankungen würden dann Anhaltspunkte zur Be-

¹⁾ Compt. rend. Acad. Sciences 176, 1370 (1923); 178, 120 (1924).
Dtsch. landw. Presse 81, 100 (1924).

antwortung der Frage liefern, welche Stellung das Jod bei der Pflanzenernährung einnimmt. Zusammen mit Ehling hat kürzlich M. Andronikow-v. Wrangell¹⁾ eine neue Methode zur Anzucht höherer Pflanzen in jodfreier Umgebung ausgearbeitet und auch benutzt. Es war nicht möglich, die Pflanzen — es handelte sich um weißen Senf — mit der angewandten Versuchstechnik großzuziehen. Dabei konnten Unterschiede zwischen den in jodfreier Luft angezogenen und den in normaler Luft wachsenden Pflanzen nicht festgestellt werden. Diese Versuche werden, soweit ich unterrichtet bin, fortgesetzt. Wir können wohl mit Recht erwarten, daß die bisher noch bestehenden Schwierigkeiten der Versuchsanstellung bald beseitigt werden.

Bevor dieses Ziel aber erreicht ist, müssen wir uns auf die landwirtschaftlich wichtige Methode der Durchführung von Vegetations- und Feldversuchen beschränken, die sich auf folgende Voraussetzung stützt: Falls das Jod, wie behauptet wird, als Reiz- oder Nährstoff für die Kulturpflanzen bedeutungsvoll wäre, müßten reichlicher mit Jod versorgte Pflanzen gegenüber solchen, die unter normalen Wachstumsverhältnissen wachsen und ungebillig nicht genügend mit Jod versorgt werden, besondere Vorzüge aufweisen. Diese Art der Untersuchung des Einflusses von Jod auf den pflanzlichen Organismus erscheint für die Beurteilung des praktischen Wertes einer Joddüngung auch ausreichend.

Um feststellen zu können, ob der Landwirt das Jod bei seinen Düngungsmaßnahmen berücksichtigen oder jodhaltige Dünger bevorzugen muß, sind in der Hauptsache folgende zwei wichtige Fragen zu lösen:

1. Wird durch Joddüngung der Kulturpflanzen eine Ertragssteigerung erzielt?
2. Wird ihr Jodgehalt wesentlich erhöht?

Die Jodaufnahme kann durch Zugaben von Jod oder Anwendung jodhaltiger Düngemittel erfolgen. Stoklasa²⁾

¹⁾ Über die Quellen der pflanzlichen Jodversorgung, Diss. Stuttgart-Ebenheim 1938.

²⁾ Compt. rend. Acad. Sciences 178, 126 [1928]; Biochem. Zentr. 175, 56 [1925].

will auf Grund seiner Versuchsergebnisse den geringen Jodmengen, wie sie mit einer normalen Chlorsalpeterdüngung verabreicht werden, besondere Bedeutung beimessen. Dabei ist aber bemerkenswert, daß er wesentlich höhere Jodmengen verwandt und das Jod nicht in Form von Jodat, wie es im Chlorsalpeter vorkommt, sondern als Kaliumjodid verabreicht hat. Beachtenswert ist weiter, daß er seine Behauptungen auf nur wenige Joddüngungsversuche stützt. Es handelt sich um einen Feldversuch zu Hafer sowie Zuckerrüben und eine Gefäßversuchsreihe, aus der die Ergebnisse von drei Pflanzen (Zuckerrüben, Lein und Hemerocallis) zahlenmäßig mitgeteilt werden.

Diese Versuchsergebnisse, aus denen Stocklass eine Stimulationswirkung durch Jodverbindungen gefolgert hat, sind von verschiedenen Stellen erneut nachgeprüft worden. Die entsprechenden Gefäß- und Feldversuche wurden teils mit Jodmengen, wie sie mit einer normalen Chlorsalpeterdüngung zugeführt werden, teils auch mit höheren bzw. steigenden Gaben durchgeführt. Das Jod wurde teils als Kaliumjodid, teils als Natriumjodat und zuweilen in noch anderer Form verabreicht.

Ich möchte nun zunächst die Frage ansprechen, ob durch Jodbeidüngung eine Steigerung der Ernteträge erzielt wird. Dabei will ich zuerst die Ergebnisse entsprechender Gefäßversuche anführen und gleichzeitig solche zu Zuckerrüben in den Vordergrund stellen. Bei Anwendung einer Jodbeidüngung zu diesem Abkömmling der Halophyten müßte eine Jodwirkung am deutlichsten in Erscheinung treten.

Zunächst hat Ungerer⁴⁾ den Joddüngungsversuch Stocklass zu Zuckerrüben in Gefäßen nachgeprüft. Er stellte erhebliche Ertragsminderungen an Rüben durch Joddüngung fest, während geringe Mehrerträge an Blättern erzielt wurden. Auch der Zuckergehalt der Rüben ging erheblich zurück.

M. Andronikow-v. Wrangell⁵⁾ prüfte diese Frage mehrfach in Gefäßversuchen zu Zuckerrüben. Alle ihre Feststellungen führen zu dem eindeutigen Ergebnis, daß durch

⁴⁾ Nachr. Pflanzenernähr., Düngung, Abt. B, 4, 309 (1905).

⁵⁾ Naturwiss. 18, 79 (1907) und Diss. Stilling.

Joddüngung eine Steigerung des Wurzelertrages nicht erzielt wird. Die Blütererträge lieferten kein einheitliches Bild.

Unsere landwirtschaftliche Versuchsanstalt Limburgerhof prüfte die Angaben Sticklaas^{*)} ebenfalls in einem Gefäßversuch zu Zuckerrüben nach. (Vgl. Tabelle 1). Wir konnten bei Verabreichung von Jod weder in Form von Jodid noch als Jodat deutliche Mehrerträge an Wurzeln oder Blättern feststellen. Die Stickstoffdüngung wurde in Form von Natriumsulphat verabreicht. Die Jodgaben schwankten in den Grenzen von etwa 80—500 000 γ je kg Boden. Mit den höheren Jodgaben, insbesondere in Form von Jodkalium, wurden nur Mindererträge erzielt.

Zu anderen Kulturpflanzen wurde von zahlreichen Stellen ebenfalls eine Reihe von Gefäßversuchen durchgeführt, die die ertragsteigernde Wirkung einer Stimulation durch Jod prüfen sollten. Über einen solchen Versuch zu Möhrerüben berichtet Th. v. Fellenberg^{*)}. Er verwandte

Tabelle 1.

Gefäßversuch 1937 zu Zuckerrüben.

Versuchsansteller: Landw. Versuchsanstalt Limburgerhof.

Versuchsteilnehmer: K. Rackmann, Landw. Versuchsanstalt Limburgerhof.

Art der Gefäße: Stilmant-Gefäße mit je 12 kg Erde.

Anzahl der Parallelreihen: 4.

Bodenart: Mittelschwerer Röhrenboden aus Hochdorf. $pH = 7,15$.

Grunddüngung je Gefäß: 1,5 g P_2O_5 als $CaH_4(PO_3)_2$.

2,5 g KCl + 1,5 g K_2SO_4 .

0,5 g $NaCl$.

2,5 g $MgSO_4 \cdot 7H_2O$.

Stickstoffdüngung je Gefäß: 1,5 g N in Form von Natrium- bzw. Chlorsulphat.

Joddüngung: siehe Tabelle.

Sorte: Eckendorfer Original.

Ansaat: 9. Mai 1937.

Versinnelt: 4. Juni 1937.

Ernte: 23. September 1937.

Entwicklung: Die Pflanzen zeigten gutes Wachstum. Die höheren Jodgaben wirkten im Anfangsstadium der Rübenentwicklung stark hemmend. Im späteren Wachstum erhielten sich die Rüben. Zum Schluß war eine Jodwirkung nicht mehr festzustellen.

Erträge: Vgl. nachstehende Tabelle. Sämtliche Jodanalysen wurden im Ammoniaklaboratorium der I. G. Farbenindustrie in Oppau von I. Deck ausgeführt.

^{*)} Biochem. Zeitschr. 158, 536 [1927].

Tabella 1. Gitterverwand 1007 im Zuckerrüben (Luft, Versäuerungslösung). Mittelwerte.

D. d. in g u g je Gramm	g Trockensubstanz pro Gramm		%, N in der Subst.		T Asd je kg Trockensubstanz		T Asd der Rübe je Gramm	
	Stoben	Korn	Stoben	Korn	Stoben	Korn	Stoben	Korn
das N	15,9	15,9	0,54	1,25	75	22,8	1,2	1,4
Normalpeter	89,9	89,1	1,29	1,07	60	130	4,0	4,1
Chilbipeter I mit 0,00005 g J	89,1	89,1	1,14	1,08	48	128	3,9	4,0
„ II „ 0,00008 g J	89,7	88,1	1,06	1,09	118	229	1,4	1,4
„ III „ 0,00048 g J	89,1	89,5	1,14	1,08	35	105	2,9	14,8
Normalpeter + 0,001 g J als KJ	89,5	89,2	1,08	1,08	18	39	1,1	1,1
Chilbipeter I + 0,001 g J „ KJ	89,5	89,5	1,16	1,01	35	108	1,2	1,1
Normalpeter + 0,005 g J „ KJ	79,8	89,6	1,30	1,19	11	115	6,9	3,1
„ + 0,005 g J „ KJ	89,9	89,2	1,08	1,19	18	39	1,9	3,7
„ + 0,015 g J „ KJ	89,9	89,2	1,19	1,09	119	429	20,9	13,5
„ + 0,050 g J „ KJ	89,7	89,4	1,40	1,09	100	160	89,7	418,9
„ + 0,001 g J „ NaO ₃	100,8	89,1	1,14	1,41	45	48	4,7	13,3
Chilbipeter I + 0,001 g J „ NaO ₃	89,4	89,7	1,09	1,09	17	33	1,9	1,9
Normalpeter + 0,005 g J „ NaO ₃	89,7	89,2	1,10	1,08	100	199	5,1	11,9
„ + 0,005 g J „ NaO ₃	89,3	89,5	1,30	1,24	100	249	20,9	80,9
„ + 0,015 g J „ NaO ₃	89,4	89,1	1,34	1,29	100	139	20,9	101,9
„ + 0,050 g J „ NaO ₃	89,9	89,7	1,19	1,08	29	129	21,9	704,1

hierbei verschiedene Böden mit und ohne Stallmistdüngung. irgendeine Wirkung der Joddüngung konnte auch er nicht feststellen.

Söderbaum⁶¹⁾ führte Gefäßversuche zu Hafer und Bohnen durch, die eine erntesteigernde Wirkung des als Joddüngung verabreichten Jodkaliums nicht ergaben.

Dafari und Brichta⁶²⁾ stellten Gefäßversuche mit Gerste und Senf an und verabreichten das Jod in Form von Natriumjodat. Sie gelangten zu einem ähnlichen Ergebnis.

M. Andronikow-v. Wrangell⁶³⁾ berichtet über eine große Anzahl von entsprechenden Gefäßversuchen zu Kartoffeln, Hafer, Rüben, Luzerne, Bohnen, Zwiebeln und neuerdings⁶⁴⁾ auch zu Senf und Spinat. Als Jodgebe verwandte sie wiederum Jodkalium, Kaliumjodat oder eine jodreiche Pflanzasche. Auch bei diesen Versuchen gelangt sie zu dem Ergebnis, daß durch eine Joddüngung weder mit kleinen Gaben noch mit solchen, die den natürlichen Gehalt des Chlorsalpeters weit übersteigen, eine Ertragssteigerung hervorgerufen wird.

Rasselt Hoff⁶⁵⁾ verabreichte bei einem Gefäßversuch zu Pferdebohnen, Senf und Hafer Natriumsalpeter, und zwar teilweise mit Jodzusatz. Das Jod wurde teils als Jodid teils als Jodat verabreicht. Die Erträge sämtlicher Vergleichsstücke waren fast gleich. Geringe Abweichungen lagen in der für die Joddüngung ungünstigen Richtung.

Densch, Steinfiatt und Günther⁶⁶⁾ berichten neuerdings über Gefäßversuche zu Möhren mit Natrium- und Chlorsalpeter sowie steigenden Kaliumjodatmengen. Sie stellten deutliche Mindererträge durch die Jodbeidüngung fest.

Nehring⁶⁷⁾ führte Gefäßversuche mit vier verschiedenen Salpeterarten (Kal-, Leuna-, Natrium- und Chlorsalpeter) und schwefelsaurem Ammoniak auf sandigem Lehm zu Hafer

⁶¹⁾ Meddelaade no 146 fra Centrallstatistiken för Skötselväxande på Jordbruksmarken 1918.

⁶²⁾ Fortschr. d. Landwirtschaft. 1, 335 (1936).

⁶³⁾ Naturwiss. 18, 79 (1937).

⁶⁴⁾ Diss. Rhldg.

⁶⁵⁾ Anzeig. d. Ldw.-Kammer f. d. Bez. Kassel 1937, 46 und Kiecher Pflanzenernähr., Düngung, Abt. B, 8, 129 (1938).

⁶⁶⁾ Kiecher, Pflanzenernähr., Düngung, Abt. B, 8, 305 (1939).

⁶⁷⁾ Fortschr. d. Landwirtschaft. 4, 40 (1939).

durch. Auch er konnte eine Ertragssteigerung durch Jodzufuhr nicht feststellen.

Als Ergänzung zu diesen Versuchen möchte ich ebenfalls einen Gefäßversuch unserer Versuchstation Limburgerhof, und zwar zu Hafer anführen. (Vgl. Tabelle 2). Vergleichend wurden verschiedene Chlorsalpetersorten und Natriumsalpeter ohne und mit Jodzugabe in Form von Jodkalium geprüft. Die Mehrerträge liegen auch hier in der für die jodhaltigen Düngergaben ungünstigen Richtung.

Tabelle 2.
Gefäßversuch 1934 zu Hafer.

Versuchsansteller: Landw. Versuchstation Limburgerhof.
Versuchsleiter: E. K a c h m a n n, Ldw. Versuchstation Limburgerhof.
Art der Gefäße: Glaserte Tongefäße mit je 7 kg Erde.
Anzahl der Parallelreihen: 4.
Bodenart: Leichtster humoser Sand mit neutraler Reaktion.
Grunddüngung je Gefäß: 1,0 g K_2O als Kaliumsulfat,
0,8 g P_2O_5 als Superphosphat,
2,0 g $CaCO_3$ als Calciumcarbonat.
Stickstoffdüngung je Gefäß: 0,8 g N in Form von Natrium- bzw. Chlorsalpeter.
Joddüngung: siehe Tabelle.
Sorte: v. Lockow's Gelbfaden.
Ansaat: 12. Juni 1934. Aufgang: 26. Juni 1934. Ernte: 27. Nov. 1934.
Entwicklung: normal.

Mittlere Mehrerträge in Gramm je Gefäß.

Düngung je Gefäß	Mehrertrag an Trockensubstanz	Mehraufnahme an N
Chlorsalpeter I—VI	11,77—13,38	0,180—0,200
Natriumsalpeter	14,3	0,248
„ + 0,01 g J	14,7	0,254
„ + 0,04 g J	11,8	0,187
„ + 0,08 g J	3,1 (Schädigung)	—
„ + 0,2 g J	Pflanzen abgestorben	—

Zusammenfassend kann man sagen, daß die von S t o k - l a s s a in seinen wenigen Versuchen gefundene ertragssteigernde Wirkung einer Joddüngung in den zahlreichen ergebnislosen Gefäßversuchen anderer Forscher und unserer landwirtschaftlichen Versuchstation Limburgerhof, von wenigen

unseren Düngelerträgen abgesehen, nicht bestätigt wird. Die Ergebnisse der Zuckerrübenversuche decken sich dabei mit denen, die auch bei anderen Kulturpflanzen gefunden wurden.

Feldversuche.

Gleiche Feststellungen brachten die zahlreichen Feldversuche. Zunächst seien Zuckerrübenversuche angeführt. Stocklassa steht mit dem Erfolg seines Feldversuches zu Zuckerrüben allein da. v. Fellenberg¹⁴⁾ prüfte den Feldversuch Stocklassas zwar nicht mit Zuckerrüben, sondern mit Runkelrüben nach. Er verabreichte Ammoniumsulfat mit und ohne Kaliumjodidzugabe. Er konnte eine Ertragssteigerung durch die Joddüngung nicht feststellen.

Kuhn¹⁵⁾ berichtet über Zuckerrübenversuche, bei denen er Jodkalium und Chlorkalium in äquivalenten Mengen verabreichte. Er konnte weder im Gewicht noch im Zuckergehalt der Rüben irgendwelche Unterschiede feststellen.

Zum gleichen Ergebnisse kommt Münster¹⁶⁾ bei seinen dreijährigen Feldversuchen zu Zuckerrüben. Er verabreichte das Jod teils als Kaliumjodid, teils als Natriumjodat.

Ellender¹⁷⁾, Karlsruhe, macht ganz ähnliche Feststellungen. Durch Verabreichung höherer Jodgaben konnten Ertragssteigerungen nicht erzielt werden.

Ehling (l. c.) berichtet über einen in Hohenheim durchgeführten Feldversuch zu Zuckerrüben mit Jodgaben in Höhe von 500 g/ha Jod in Form von Jodkalium und jodreicher Flugasche mit und ohne Verwendung von Volldüngung. Die Wurselerträge brachten nur geringe Unterschiede, während die Blättererträge bei den jodgedüngten Pflanzen durchweg kleiner waren. Der entsprechende Versuch zu Futterrüben auf drei verschiedenen Böden läßt eine Stimulationswirkung der Joddüngung nicht erkennen.

Eine größere Anzahl von Feldversuchen sowohl zu Zucker- als auch zu Futterrüben wurde von unserer Landwirtschaft-

¹⁴⁾ Zechen. Zechr. 163, 310 [1933].

¹⁵⁾ Nach. Zuckerrind. 1888, 591.

¹⁶⁾ Landwirtschaftl. Jahrbuch. 67, 99 [1933] und Fortsch. d. Landwirtschaft, 2, 487 [1933].

¹⁷⁾ Zechen. Pflanzenernähr., Düngung. Abt. A, 13, 97 [1933].

hohen Versuchstation Limburgerhof durchgeführt. Ich möchte zunächst einen Zuckerrübenfeldversuch bekanntgeben, der auf dem Versuchsfeld Ruchensfelde der Zuckerfabrik Körbisdorf bei Merzbach angelegt wurde. (Vgl. Tabelle 3.) Behandelt sich um einen Stickstoffdüngervergleichsversuch, bei dem vier Salpetermineralen sowie Harnstoff und schwefelsaures Ammoniak mit und ohne Jodgebe geprüft wurden. Das Jod wurde sowohl als Kaliumjodid als auch als Natriumjodat verabreicht. Gleichzeitig wurden die Wirkungen verschiedener Chlorsalpetermineralen und von Natriumsalpeter mit steigenden Jodgeben untersucht. Ertragssteigerungen, die eine sichere Jodwirkung erkennen lassen, wurden nicht erzielt. Mit steigenden Jodgeben nahmen die Ernteerträge sogar ab.

Tabelle 3.

Feldversuch 1927 zu Zuckerrüben.

Versuchsfeld: Ruchensfelde bei Merzbach.

Versuchsführer: E. Rackmann, Landw. Versuchstation Limburgerhof, in Verbindung mit Stadel, Ruchensfelde.

Parzellengröße: 80 qm. Anzahl der Parzellestreifen: 4.

Bodenart: Tiefgründiger Lösslehm, der etwa 1000 g Jod je Kilogramm enthält.

Grunddüngung: 100 dt/ha Stallmist am 10. November 1926.

100 kg/ha K_2O als 40er Kalidüngesalz

60 kg/ha P_2O_5 als Superphosphat

am 27. 4.
1927.

Stickstoffdüngung: 100 kg/ha N in Form verschiedener Stickstoffdüngungen. Ein Drittel der Stickstoffgabe wurde bei sämtlichen Düngemitteln am 27. April 1927 gegeben. Die Jodsalze wurden mit dem betr. Stickstoffdüngern gemischt verabreicht. Die restliche Stickstoffgabe wurde am 27. Mai 1927 als Kopfdüngung verabreicht.

Joddüngung: Siehe Tabelle.

Sorte: Kleinwanzlebener R.

Vorfrucht: Erbsen.

Ansaat: 25. April 1927, im Verband 80 x 35 cm, mit der Hand gedoppelt.

Ernte: 7. November 1927.

Entwicklung: Da die Witterung im Frühjahr recht kühl war, zeigten die Rüben langsamen Aufgang. Auch die erste Entwicklung war langsam. Im Juni waren die KP-Teilflächen von den Stickstoffparzellen deutlich zu unterscheiden. Weitere Unterschiede traten nicht auf.

Erträge: Vgl. nachstehende Tabelle.

Tabella 1. Polimeri di 1,3-Butadiene (PBD), Polimeri di 1,3-Butadiene e Stirene (PBSt), Polimeri di 1,3-Butadiene e Acetilene (PBAC).

[illegible]

Ein weiterer Feldversuch zu Zuckerrüben und Futterrüben wurde in Verbindung mit Engels¹⁴⁾ auf der Feldmark Ludwigshof bei Speyer durchgeführt. (Vgl. Tabelle 4.) Es handelt sich um einen Vergleichsversuch mit Natrium- und Chlorsalpeter. Gleichzeitig wurden steigende Kaliumjodid- und Natriumjodatmengen zu Natriumsalpeter verabreicht. Im Runkelrübenversuch ist eine Steigerung des Rübenblatt- und Zuckerertrages durch Chlorsalpeter bzw. Natriumsalpeter + Jod im Vergleich zu Natriumsalpeter ohne Jod festzustellen. Die Mehrerträge liegen allerdings innerhalb der drei- bis vierfachen Schwankung. Auch ist zu berücksichtigen, daß die Entwicklung der Rüben unter zu hohem Grundwasserstand litt, wodurch die Gleichmäßigkeit des Bestandes gestört wurde. Bei den Zuckerrüben ist durch die Jodbeimischung weder eine nennenswerte Ertragsvermehrung noch ein eindeutiger Einfluß auf den Zuckerertrag zu erkennen.

Tabelle 4.

Feldversuch 1927 zu Zuckerrüben bzw. Runkelrüben.

Ludwigshof bei Speyer.

Versuchsflecker: Engels, in Verbindung mit K. Rackmann, Landw. Versuchsanstalt Limburgerhof. (Vgl. Engels Gartenbauwissenschaft 1, 71 [1928].)

Parzellengröße: 50 qm. Anzahl der Parzellenreihen: 4.

Bodenart: Schwere Lehm, dem älteren Rheinauenium angehörend, $pH = 7,1$ bis $7,7$; enthält folgende Jodmengen je Kilogramm:

Zuckerrübenfeld: Krume . . .	800 γ	Der Boden wird seit
Untergrund . . .	800 γ	etwa 20 Jahren ohne
Runkelrübenfeld: Krume . . .	400 γ	Stallmistbewirtschaftet
Untergrund . . .	400 γ	

Grunddüngung: 300 kg/ha K_2O als älter Kalidüngesalz,
80 kg/ha P_2O_5 als Thomasmehl.

Stickstoffdüngung: 100 kg/ha N als Natrium- bzw. Chlorsalpeter. Je ein Drittel wurde am 23. April, 26. Mai und 24. Juni 1927 verabreicht.

Joddüngung: Siehe Tabelle.

Sorte: Klezwandener bzw. Eckendorfer. Vorfrucht: Weizen.

Aussaat: 28. Mai 1927, mit 44 cm Keimlingsstand.

Ernte: Zuckerrüben am 23. Oktober, Runkelrüben am 28. Oktober 1927.

Entwicklung: Die Rüben hatten unter hohem Grundwasserstand (infolge hoher Niederschläge) zu leiden, was sich auch in der Gleichmäßigkeit des Bestandes störend bemerkbar machte.

Erläge: Vgl. nachstehende Tabelle.

¹⁴⁾ Gartenbauwissenschaft 1, 71 [1928].

Tab. 4. Feldversuch 1937 in Seidenfelden bzw. Eucksdorfen (Lustigsdorf). Mittelerträge.

Pflanzensort	Düngung je ha	Ernteertrag je ha		Ernteertrag als Treckenschnitt je ha		Zuckerring in dt je ha	Anteil der Treckenschnitts in % je kg	Foderling in kg je ha insgesamt
		Füllon	Stängel	Füllon	Stängel			
Eucksdorfen	ET	274,46± 4,7	174,34	64,83	25,44	41,38	7± 3	340,8
	ET, Nitrosaljeper	279,36± 4,7	202,46	64,81	26,39	50,81	14± 4	367,8
	ET, Calumaljeper	278,86± 4,8	224,15	67,86	33,86	59,83	48± 5	391,7
	ET, Nitrocon. 50 g/l als 20 ₄	284,46± 10,8	264,79	70,86	30,81	61,18	6± 5	356,8
	ET, „ 50 „ „ EJ . . .	282,86	282,86	68,38	37,33	48,18	18± 5	339,8
	ET, „ 100 „ „ 20 ₄	279,86± 10,8	274,62	66,34	36,39	48,78	36± 5	333,8
	ET, „ 150 „ „ EJ . . .	278,86± 4,8	268,79	70,14	30,86	61,34	18± 3	338,8
	ET, „ 180 „ „ EJ . . .	280,36± 7,4	279,34	70,87	36,46	62,18	10± 12	404,8
Eucksdorfen	ET	341,36± 10,8	32,86	52,87	4,16	15,49	22± 4	318,8
	ET, Nitrosaljeper	400,86± 4,8	63,86	43,86	12,47	39,87	10± 4	391,8
	ET, Calumaljeper	519,86± 10,8	79,86	48,86	11,87	37,86	10± 4	501,7
	ET, Nitrocon. 50 g/l als 20 ₄	500,36± 10,8	64,86	48,86	11,86	38,41	14± 15	481,8
	ET, „ 50 „ „ EJ . . .	517,86± 10,8	79,86	44,86	11,86	37,78	6± 6	517,4
	ET, „ 125 „ „ 20 ₄	500,73± 20,7	74,86	48,86	12,81	38,87	10± 7	481,8
	ET, „ 150 „ „ EJ . . .	508,86± 14,4	74,86	50,86	17,86	57,86	20± 2	508,8
	ET, „ 180 „ „ EJ . . .	508,44± 20,7	79,34	47,86	17,86	58,86	15± 2	448,8

Tabelle 5.

Feldversuch 1928 zu Zuckerrüben.

Versuchsanstalt: N ä g e l e, Hochdorf/Reinhardt.

Versuchsleiter: K. Hackmann und V. Huppert, Lbr. Versuchsanstalt Lönningerhof.

Parzellengröße: 25 qm. Anzahl der Parallelsreihen: 8.

Bodenart: Löß mit alkalischer Reaktion, Höhe 100 m NN.

Vorfrucht: Hafer.

Düngung zur Vorfrucht: 50 kg/ha N als schwefels. Ammoniak.

50 kg/ha P_2O_5 als Superphosphat.

50 kg/ha K_2O als öst. Kalidüngesalz.

Grunddüngung: 300 da/ha Stallmist

120 kg/ha K_2O als öst. Kalidüngesalz } am 19. April
50 kg/ha P_2O_5 als Superphosphat } 1928.

Stickstoffdüngung: 50 kg/ha N als Nitron-, Chile- bzw. Kalisaltpeter.
Die eine Hälfte wurde zur Saat am 26. April 1928, die andere
Hälfte als Kopfdünger am 14. Juni 1928 gegeben.

Joddüngung: 120 g/ha Jod als Natriumjodat wurden am 26. April 1928
zusammen mit der entsprechenden Natriumsalpetergabe verabreicht.

Aussaat: 27. April 1928 mit 50 cm Drillweise. Ernte: 22./23. Okt. 1928.

Ernteprüfung: Die Rüben wurden dreimal mit der Hand gehackt. Sie
litten unter starker Trockenheit zu leiden, die auch die Ursache
für die in mäßiger Umfange aufgetretene Herabkule gewesen
sein dürfte.

Mittelserträge.

D ü n g u n g je ha	Mittlerer Ertrag da/ha		Mehrertrag gegen N — freie Düng- da/ha		Zuckergehalt der Rüben	
	Rüben	Blätt.	Rüben	Blätt.	%	da/ha
(Feldgewicht)						
KP (ohne N)	516,48	138,2	—	—	18,75	59,48
Natronalp. + 120 g/ha Jod	545,48	192,0	32,90	43,8	18,63	64,32
„ „ ohne Jod	559,66	195,1	34,20	46,9	18,77	66,52
Chilesalp. (1:10 000) Jod je kg	559,64	195,6	42,45	57,4	19,18	68,54
Kalksalpeter	560,37	195,6	43,89	55,4	19,27	69,44

Ferner wurde von uns ein Feldversuch zu Zuckerrüben bei
N ä g e l e, Hochdorf, durchgeführt. (Vgl. Tabelle 6.) Nitron-
salpeter mit und ohne Jodgebe, Chilesalpeter und Kalksalpeter
wurden vergleichend geprüft. Mehreerträge zugunsten der Jod-
düngung können weder im Wurzel- und Blätter-, noch im
Zuckerertrag festgestellt werden.

Schließlich wurde noch ein Feldversuch an Zuckerrüben und Runkelrüben bei Huppert, Gundersheim, angestellt. (Vgl. Tabelle 6.) Dort wurden Natronsalpeter mit und ohne steigende Jodgeben, zwei Chlorsalpeternormen und Kalksalpeter vergleichend geprüft. Blindentige Mehrerträge an Wurzel- oder Blättern zugunsten der Jodgeben wurden nicht erzielt. Der Zuckergehalt der Rüben wurde durch Jod eher ungünstig beeinflusst.

Th. v. Fallenberg¹⁹⁾ führte ebenfalls einen Runkelrübenversuch zur Klärung der Jodfrage durch. Er verabreichte schwefelsaures Ammoniak mit und ohne Jodgebe. Letztere hatte eine Verminderung der Wurzel- und Blättererträge zur Folge.

Ein weiterer Runkelrübenversuch wurde von Dufert und Brichta (l. c.) ausgeführt. Eine Steigerung des Rüben-

Tabelle 6.

Feldversuch 1928 an Zuckerrüben bzw. Runkelrüben.

Versuchsansteller: Huppert, Gundersheim/Rhodesbessen.

Versuchsleiter: K. Beckmann und V. Huppert, Landw. Versuchsanstalt Linsengerhof.

Parzellengröße: 12 qm. Anzahl der Parallelsreihen: 4.

Bodenart: Kalkreicher Loß mit stark alkalischer Reaktion, Eßkesslage 180 m NN.

Vorfrucht: Roggen.

Düngung vor Vorfrucht: 12 kg/ha N als schwefels. Ammoniak,
50 kg/ha P_2O_5 als Thomasmehl,
60 kg/ha K_2O als 40er Kalidüngesalz.

Grunddüngung: 160 kg/ha K_2O als 40er Kalidüngesalz } im Februar
60 kg/ha P_2O_5 als Thomasmehl } 1928

Stickstoffdüngung: 160 kg/ha N als Natron-, Kalk- bzw. Chlorsalpeter.
Die erste Hälfte wurde am 27. April 1928 zur Saat, die zweite Hälfte am 28. Mai als Kopfdüngung gegeben.

Joddüngung: 50, 100, 200 und 400 g/ha Jod als Natriumjodat wurden, mit Natronsalpeter vermischt, am 27. April 1928 verabreicht.

Ansaat: 24. April 1928 mit 50 cm Drillweite.

Ernte: 8. November 1928.

Entwicklung: Die Rüben wurden zweimal mit der Hand und mehrere Male mit der Maschine gehackt. Das Wachstum verlief ohne Störung. Unterschieds waren nur zwischen KP und Volldüngung erkennbar.

Erträge: Vgl. nachstehende Tabelle.

¹⁹⁾ Biochem. Zentr. 169, 216 (1928).

Tabella 8. Polifenole 1205 im Zuckerrüben bzw. Runkelrüben (Übersichtstabelle). Mittelerträge.

Pflanzen- art	Befruchtung	Ad. g/ha	Mittlere Ertrag d.h.a. t/ha (1000 t/ha)	Mehrfach- gaben (Faktor d.h.a.)	Trockenmasse- Befrucht- ung d.h.a.	Zuckergehalt der Rüben %	d.h.a.
Zuckerrüben	EP (ohne R).	—	580,75	580,75	—	18,28	106,08
	Streuungs- düngung	100	653,96	653,96	58,28	18,75	114,40
	"	200	677,58	677,58	48,28	18,28	114,40
	"	300	679,58	679,58	48,17	17,58	110,50
	"	400	679,58	679,58	47,75	17,58	110,50
	Colman'sche Erde 100-100 + Jod ⁷	—	674,08	674,08	48,28	18,28	110,50
	Streuungs- düngung	—	670,08	670,08	48,28	18,28	110,50
	Colman'sche Erde II 25-100 + Jod ⁷	—	671,36	671,36	48,28	18,28	110,50
	Streuungs- düngung	—	671,36	671,36	48,28	18,28	110,50
	Streuungs- düngung	—	671,36	671,36	48,28	18,28	110,50
Runkelrüben	EP (ohne R).	—	1138,58	1138,58	—	11,47	128,9
	Streuungs- düngung	100	1222,07	1222,07	58,78	11,48	128,9
	"	200	1231,26	1231,26	58,28	10,27	128,9
	"	300	1230,71	1230,71	57,78	10,78	128,9
	"	400	1230,26	1230,26	57,28	10,78	128,9
	Colman'sche Erde 100-100 + Jod ⁷	—	1230,58	1230,58	58,28	10,28	128,9
	Streuungs- düngung	—	1188,58	1188,58	57,28	10,28	128,9
	Colman'sche Erde II 25-100 + Jod ⁷	—	1188,28	1188,28	57,28	10,28	128,9
	Streuungs- düngung	—	1188,28	1188,28	57,28	10,28	128,9
	Streuungs- düngung	—	1188,28	1188,28	57,28	10,28	128,9

⁷ Je Kilogramm Stickstoff

ertragen fand auch hier nicht statt. Die Unterschiede im Bitterertrag liegen innerhalb der üblichen Schwankungen.

Zu anderen Kulturpflanzen wurde ebenfalls eine große Anzahl von Feldversuchen durchgeführt. M. Andronikow v. Wrangell (l. c.) berichtet über entsprechende Joddüngungsversuche an Kartoffeln, Hafer, Rotklee, Möhren, Spinat, Salat, Filderkraut und Gurken. Ehling (l. c.) führt weitere Versuche mit Weizen, Rotklee, Tomaten, Bohnen und Apfelfrüchten an. Eine einseitige Ertragssteigerung durch Joddüngung wurde nirgends erzielt. Bei einigen Pflanzen zeigten sich ähnlich wie bei den bereits beschriebenen Gefäßversuchen deutliche Giftwirkungen des Jodes, besonders bei Gurken.

Kasselhoff (l. c.) prüfte die Wirkung eines Zusatzes von Jodkalium zu Natronsalpeter in einem Feldversuch an Hafer. Auch er erzielte keinerlei Ertragssteigerung. Die Ergebnisse seiner neuesten Veröffentlichungen (l. c.) liegen in gleicher Richtung. Er stellte Freilandversuche mit Futterrunkeln, Kartoffeln und Hafer an. Dabei wurde das Jod teils als Jodid, teils als Jodat, und zwar als Beigabe zu Natronsalpeter verabreicht. Die von ihm für Hafer angeführten Mittelerträge aus fünf Parallelreihen mit je zwei Haferarten können für die Jodbedüngung eher als ungünstig gedeutet werden. Als Gesamtresultat seiner Versuche stellt er fest, daß eine Beeinflussung des Bruteertrages durch die Beigabe von Jod zur Düngung nicht eingetreten sei.

Dorrell¹⁴⁾ berichtet über Feldversuche zu Hopfen mit steigenden Jodgaben. Mit Rücksicht auf die Tatsache, daß bei der Ertragsfeststellung mehrjähriger Versuchspflanzen mit wesentlich größeren Fehlerabweichungen als bei einjährigen Pflanzen zu rechnen ist, können die angeblichen Ertragssteigerungen durch die geringeren Jodgaben als durchweg zweifelhaft bezeichnet werden, wozu auch schon L e m m e r m a n n hingewiesen hat. Unter dem Einfluß höherer Jodgaben wurde der Gehalt des Hopfens an Bitterstoffen deutlich herabgesetzt.

Unsere Versuchstation Limburgerhof hat die Frage der Stimulationswirkung durch Jod ebenfalls in einem Feldversuch geprüft. Es handelt sich um einen Sommergerstenversuch auf dem Versuchsfeld Ruesche-

¹⁴⁾ Zuehr. angew. Chem. 41, 1117 (1928), und Zuehr. Pflanzenernähr., Düngung 12, 344 (1933).

felde bei Mersburg. (Vgl. Tabelle 7.) Dort wurden verschiedene synthetische Stickstoffdünger, eine Anzahl Chlorsalpetarproben mit wechselndem Jodgehalt und Natronsalpeter mit und ohne steigende Jodgeben in Form von Natriumjodat erprobt. Auch dieser umfangreich angelegte Versuch läßt eine Steigerung des Ernteertrages durch Joddüngung nicht erkennen.

Tabelle 7.

Feldversuch 1928 zu Sommergerste.

Versuchsfeld Buschenfelde bei Mersburg.

Versuchsfelder: K. Rackmann, Ldw. Versuchsanstalt Limburgerhof.

Parzellengröße: 50 qm. Anzahl der Parallelsreihen: 4.

Bodenart: Tiefgründiger Lössboden mit alkalischer Reaktion, der 1906 bis 1920 7 Jod je Kilogramm enthält.

Grunddüngung: 60 kg/ha P_2O_5 als 18% Thomasmehl } am 31. März
100 kg/ha K_2O als 40% Kaldingessalz } 1928.

Stickstoffdüngung: 40 kg/ha N in Form verschiedener Stickstoffdünger am 3. April 1928.

Joddüngung: Versucht mit den entsprechenden Natronsalpetergaben am 3. April 1928.

Sorte: Strengs Franken.

Vordrucht: Zuckerrüben.

Aussaat: 26. April 1928 mit 50 cm Drillweite.

Aufgang: 22. Mai 1928.

Ernte: 26. Juli 1928.

Entwicklung: normal. Der Boden wurde mehrmals gegut und gewalzt, die Frucht zweimal mit der Hand gehackt.

Erträge: Vgl. nachstehende Tabelle.

Feldversuch 1928 zu Sommergerste (Buschenfelde.)

Mittelserträge.

Lufttrockene Masse¹⁾ von Körnern und Stroh je ha in da.

Düngung	γ Jod/kg	Ohne Jod		+ 12,5 g Jod/ha als Natriumjodat		+ 25,0 g Jod/ha als Natriumjodat	
		Korn	Stroh	Korn	Stroh	Korn	Stroh
KP		17,8	19,7	—	—	—	—
Harnstoff		21,0	22,9	21,7	24,2	21,2	24,0
Schw. Ammoniak .		20,9	24,6	21,2	23,6	20,9	23,6
Leumonsalpeter .		20,9	23,9	21,8	24,7	21,3	23,3
Natronsalpeter . .		21,4	24,5	22,8	26,1	22,0	25,1
Natronsalpeter . .		21,6	25,3	—	—	—	—
Chlorsalpeter II .	22 000	21,7	25,4	21,7	25,7	22,1	25,2
„ VI	7 000	21,7	25,6	—	—	—	—
„ VII	100 000	21,6	25,7	—	—	—	—
„ I	22 500	22,1	25,6	—	—	—	—
„ VIII	41 500	22,3	25,6	—	—	—	—

100 000 γ = ca. 35 g Jod.

¹⁾ 10% Feuchtigkeith.

Natriumsalpeter + g Jod je ha als Natriumjodst.	die lufttrockene Masse je ha	
	Körner	Stroh
115,0	21,8	27,0
225,0	21,6	26,2
335,0	21,9	26,3
445,0	21,9	27,2
555,0	22,1	26,5
665,0	21,7	26,2
775,0	21,9	25,7
885,0	21,9	25,4
995,0	22,1	25,9
1045,0	21,9	25,5
1095,0	21,8	24,9

Zusammenfassend kann man sagen, daß sich die Ergebnisse der zahlreichen Feldversuche mit denen der beschriebenen Gefäßversuche voll und ganz decken. Als Ergebnis sämtlicher Versuche zur Frage der Ertragssteigerung durch Jod kann man folgendes feststellen: Die Beobachtungen von Stoklassa hinsichtlich einer ertragssteigernden Wirkung der Joddüngung können der exakten Nachprüfung durch andere Forscher nicht standhalten. Bei kleinen Jodgeben, wie sie mit einer normalen Chlorsalpetergabe verabreicht werden, kann irgendeine Wirkung nicht festgestellt werden. Bei mittleren Jodgeben ist eine Wirkung unsicher und liegt innerhalb der durchschnittlichen Fehlergrenzen. Bei hohen Jodgeben werden häufig deutliche Ertragsminderungen und sogar Schädigungen des Pflanzenwachstums beobachtet. Zu dem gleichen negativen Ergebnis gelangen auch andere Forscher in ihren zusammenfassenden Betrachtungen über Versuche dieser Art, z. B. Kreck¹²⁷⁾, Klein¹²⁸⁾, Remy¹²⁹⁾ und Eddelbüttel¹³⁰⁾.

Nachdem gezeigt wurde, daß der Nebenbestandteil Jod des Chlorsalpeters keine Ertragssteigerung bringt, ist anzunehmen, daß bei der Anwendung von Natrium- und Chlorsalpeter im Hinblick auf ihre sonst chemisch gleiche Zusammensetzung überhaupt keine Ertragsunterschiede erzielt werden.

¹²⁷⁾ Dtsch. landw. Presse 51, 604 [1924].

¹²⁸⁾ Fortschr. d. Landwirtschaft, 3, 434 [1927].

¹²⁹⁾ Dtsch. Zuckerind. 1927, Nr. 28.

¹³⁰⁾ Ztschr. angew. Chem. 41, 309 [1928].

salpeter sowohl hinsichtlich des Wurzel- als auch des Blätterertrages kein Unterschied besteht“.

Biederbeck¹⁰⁾ stellte bei seinem Zuckerrübenversuch eine mäßige Überlegenheit des Natronsalpeters fest.

Zum gleichen Ergebnis kommt Engels (l. c.).

In einem Zuckerrübenversuch von Remy¹¹⁾ brachte Natronsalpeter etwas weniger, dafür aber entsprechend zuckerreichere Rüben als Chlorsalpeter. Kürzlich erst veröffentlichte Zuckerrübenversuche von Remy¹²⁾ ergaben, daß die Abweichungen zwischen Chlorsalpeter und Natronsalpeter in allen Fällen innerhalb der Fehlergränze lagen und daß insbesondere die Wirkung der Nebenbestandteile des Chlorsalpeters (Jodsalze und Kaliumperchlorat) keinerlei augenscheinlichen Erfolg erkennen ließ.

In einem Zuckerrübenversuch in Lauchthädt aus dem Jahre 1927, dessen Ergebnis in dem Bericht der Agrarkulturchemischen Versuchstation Halle niedergelegt ist, brachte Natronsalpeter geringen Mehrertrag gegenüber Chlorsalpeter.

Vergleichsversuche von Müller-Waghäusel¹³⁾ ergaben gleich hohe Erträge bei Chlorsalpeter- und Natronsalpeterdüngung.

Das gleiche Ergebnis brachten acht Zuckerrübenversuche der Arbeitsgemeinschaft mecklenburgischer Zuckerfabriken, Wismar, aus dem Jahre 1927.

In den Vergleichsversuchen des Versuchsringes Langensalze-Mühlhausen aus den Jahren 1923/27 erzielte Natronsalpeter deutlichen Mehrertrag.

Zuckerrübenversuche des Versuchsringes Hindenburg aus dem Jahre 1927 ergaben nur geringfügigen Mehrertrag durch Chlorsalpeter.

In einer Zuckerrübenversuchersreihe der Versuchsvereinsigung Hörde wurden mit Kalisalpeter deutliche Mehrerträge gegenüber Chlorsalpeter erzielt.

Im Versuchsring Othmars wurden in 14 Versuchen zu Zuckerrüben aus dem Jahre 1926 mit Natronsalpeter und Chlorsalpeter gleich hohe Erträge geerntet. In 3 Versuchen aus dem Jahre 1927 brachte Natronsalpeter deutlichen Mehrertrag.

¹⁰⁾ Zeits. f. d. Zuckerind. d. Tschechoslow. Rep. 1926, Nr. 52.

¹¹⁾ Dtsch. Zuckerind. 1927, Nr. 28.

¹²⁾ Landw. Jahrbücher 69, 338 (1929).

¹³⁾ Mon. d. D.L.G. 43, 339 (1928).

M. Andronikow-v. Wrangell fand nach Mitteilung von Biederhack¹⁰⁾ im Mittel von 5 Vergleichsversuchen nur ganz geringfügigen Mehrertrag durch Chlorsalpete.

In dem schon erwähnten Futterrübenversuch von Defert und Brichs brachte Natronsalpeter deutlichen Mehrertrag.

Der bereits angeführte Zuckerrübenversuch unserer Versuchstation Linbergerhof auf dem Versuchsfeld Ruschensfelde aus dem Jahre 1927 läßt die völlige Gleichwertigkeit von Natronsalpeter und Chlorsalpeter erkennen. (Vgl. Tabelle 3.)

Ähnliche Ergebnisse wie die genannten Zuckerrübenversuche lieferten auch entsprechende Vergleichsversuche zu den übrigen Kulturpflanzen.

In den bereits erwähnten Gefäßversuchen zu Möhren von Densch, Steinfall und Günther (l. c.) haben sich Natron- und Chlorsalpeter als vollständig gleichwertig in ihrer Wirkung auf den Erfolg erwiesen.

Schween¹¹⁾ berichtet neuerdings über vergleichende Feldversuche mit Kalk-, Natron- und Chlorsalpeter zu Hafer, Rüben und Kartoffeln. Er stellt fest, daß Chlorsalpeter dem Kalk- und Natronsalpeter nicht überlegen ist.

Die Zusammenstellung schwedischer Feldversuche mit Chlorsalpeter neben Kalksalpeter von Holte¹²⁾ läßt die Gleichwertigkeit beider Düngemittel zu Zuckerrüben, Futterrüben, Kartoffeln und Getreide erkennen.

Zum gleichen Ergebnis kommt Gerlach¹³⁾, der die Wirkung beider Stickstoffdünger in 56 Versuchen prüfte. In einer neueren Veröffentlichung¹⁴⁾ macht er von neuem diese Feststellung. Es sei nicht der Fall, daß die geringen Mengen Jod im Chlorsalpeter günstig auf die Entwicklung und Erträge der landwirtschaftlichen Kulturpflanzen wirken. Bei seinen Versuchen hat sich eine ertragssteigernde Wirkung des Jodes im Chlorsalpeter nicht bemerkbar gemacht.

Die Gleichwertigkeit von Natronsalpeter und Chlorsalpeter fand Boroch-Schreiber¹⁵⁾ in entsprechenden Vergleichsversuchen zu Kartoffeln.

¹⁰⁾ Zuckerrübenbau 1928, 46.

¹¹⁾ Mitt. d. D.L.G. 44, 386 [1929].

¹²⁾ Svensk 42, 103 [1928].

¹³⁾ Förlings Mv. Tg. 64, 5 [1925].

¹⁴⁾ Zuckr. Pflanzenernährung, Bt. 1929, Abt. B, 2, 96 [1929].

¹⁵⁾ Kultur f. Pflanzenbau u. Pflanzenernährung 4, 1 [1923].

In einem Roggenversuch aus dem Jahre 1924 fand Schneider¹⁰⁾ eine deutliche Überlegenheit des Natronsalpeters.

Bei Vergleichsversuchen zu Roggen und Weizen stellte Kasanitz¹¹⁾ keinerlei Ertragsunterschiede fest.

Weigert¹²⁾ berichtet neuerdings über fünfjährige Vergleichsversuche zu Winterweizen mit zeitlich verschiedenen Stickstoffgaben im Frühjahr, einen Vergleichsversuch zu Hafer, vierjährige Wiesenversuche und Vergleichsversuche zu Zuckerrüben, Futterrüben und Kartoffeln. In der Wirkung der drei Salpeterarten konnte er keine besonders hervorstechenden Unterschiede feststellen.

Unsere landwirtschaftliche Versuchstation Lämburgerhof führte in den Jahren 1927 und 1928 auf dem Versuchsfeld Bruchhausen der Süddeutschen Zucker-Aktiengesellschaft Vergleichsversuche zu Sommergerste, Sommerweizen, Winterweizen und Zuckerrüben mit steigenden Stickstoffgaben durch. (Vgl. Tabelle 9.) Im Mittel von 4 Parallelreihen konnten nennenswerte Unterschiede in der Wirkung der drei Salpetergänger nicht festgestellt werden.

Im Zuckerrübenversuch 1928 brachten Kalksalpeter und Natronsalpeter eher höhere Erträge als Chilsalpeter.

In einem entsprechenden Versuch zu Futterrüben bei Frey-Seckenheim erzielen wir im Mittel von 4 Parallelreihen mit dem jodfreien Kalksalpeter den höchsten Ertrag. (Vgl. Tabelle 10.)

Vergleichsversuche zu Sommergerste, Winterroggen und Hafer, die im Jahre 1928 auf dem Gelände unserer Versuchstation Lämburgerhof durchgeführt wurden, brachten folgende Ergebnisse. (Vgl. Tabelle 11.) Im Mittel von 9 bzw. 12 Wiederholungen schnitten Kalksalpeter und Natronsalpeter eher etwas besser ab als Chilsalpeter.

Schließlich möchte ich noch die Durchschafftsgergebnisse zahlreicher anderer Vergleichsversuche anführen, die durch unsere landwirtschaftlichen Beratungstellen auch in Verbindung mit dritten Stellen in den Jahren 1927/28 durchgeführt wurden. Setzt man den mit Natronsalpeter erhaltenen Rüben-ertrag = 100,

¹⁰⁾ Ill. Hw. Ztg. 1925, Nr. 13.

¹¹⁾ Wölkens Hw. Ztg. 1924, 236.

¹²⁾ Landwirtschaftl. Jahrbch. Bayern 1928, Nr. 3—4, u. Mitt. d. D.L.G. 44, 261 [1929].

so brachte im Mittel von 62 exakt durchgeführten Zuckerrübenversuchen Kalksalpeter einen relativen Ertrag in Höhe von 97,85 und Chlorsalpeter einen solchen von 99,51. Im Mittel von 27 Futterrübenversuchen wurde mit Chlorsalpeter ein relativer Rüben-ertrag in Höhe von 98,38 erzielt.

Tabelle 9.

Feldversuche 1928 an Sommergerste, Sommerweizen, Winterweizen und Zuckerrüben.

Versuchsanstalt: Gutsverwaltung Bruchhausen (Baden) der Südd. Zucker A.-G.

Versuchsleiter: E. Rackmann und T. Huppert, Landw. Versuchsanstalt Lindeburghof.

Parzellengröße: 25 qm. Anzahl der Parallelsreihen: 4.

Bodenart: Tiefgründiger schwerer Lehm mit alkalischer Reaktion, Höhe 100 m, NN. Vorkraut: Ralen.

Düngung zur Vorkraut: 40 kg/ha N,
65 kg/ha P_2O_5 ,
120 kg/ha K_2O .

Sorte: Sommergerste: Franks verb. Pfläzer.

Sommerweizen: Straben roter Schlemmer.

Winterweizen: Straben Dinkopf, 1. Abz.

Zuckerrüben: Klaiswandkriener.

Grunddüngung:

Sommergerste:	52,7 kg/ha P_2O_5 als Superphosphat	am 2.8.1928
	80,8 kg/ha K_2O als Chlorkali	
Sommerweizen:	48,0 kg/ha P_2O_5 als Superphosphat	am 28.2.1929
	75,8 kg/ha K_2O als Chlorkali	
Winterweizen:	48 kg/ha P_2O_5 als Superphosphat	am 28.10.1927
	80 kg/ha K_2O als Chlorkali	
Zuckerrüben:	800 da/ha Stallmist	am 10.4.1928
	58,0 kg/ha P_2O_5 als Superphosphat	
	121,00 kg/ha K_2O als Chlorkali	

Stickstoffdüngung in Form von Kalk-, Natron- und Chlorsalpeter:

Sommergerste:	50, 40 und 30 kg/ha N. Die erste Hälfte wurde am 2. März zur Saat, die zweite Hälfte am 7. Mai als Kopfdüngung gegeben.
Sommerweizen:	40, 30 und 20 kg/ha N. Die erste Hälfte wurde am 28. Februar zur Saat, die zweite Hälfte am 7. Mai als Kopfdüngung gegeben.
Winterweizen:	40, 30 und 20 kg/ha N. Die erste Hälfte wurde am 21. Februar, die zweite Hälfte am 7. Mai gegeben.
Zuckerrüben:	60, 75 und 100 kg/ha N. Die erste Hälfte wurde am 10. April zur Saat, die zweite Hälfte am 9. Juni als Kopfdüngung gegeben.

Aussaat: Sommergerste: 2. März 1928 mit 21 cm Drillweite.
 Sommerweizen: 29. Februar 1928 mit 21 cm Drillweite.
 Winterweizen: 20. November 1927 mit 21 cm Drillweite.
 Zuckerrüben: 11. April 1928 mit 90 cm Drillweite.
 Ernte: Sommergerste: 28. Juli 1928.
 Sommerweizen: 5. August 1928.
 Winterweizen: 1./2. August 1928.
 Zuckerrüben: 20./21. Oktober 1928.
 Erträge: Vgl. nachstehende Tabelle.

Feldversuche 1928 an Sommergerste, Sommerweizen, Winterweizen und Zuckerrüben (Bruchhausen).

Mittelerträge an lufttrockener Masse in dt/ha.

	20 kg N/ha		40 kg N/ha		60 kg N/ha	
	Körner	Stroh	Körner	Stroh	Körner	Stroh
Sommergerste: KP	25,77	28,98	—	—	—	—
Kalksalpeter	27,25	27,54	42,21	43,00	44,44	43,27
Natronsalp.	27,31	27,54	41,24	42,70	45,23	43,25
Chlorsalpet.	28,74	27,90	42,43	43,75	45,72	44,94
	80 kg N/ha		100 kg N/ha		120 kg N/ha	
	Körner	Stroh	Körner	Stroh	Körner	Stroh
Sommerweizen: KP	31,13	34,47	—	—	—	—
Kalksalpeter	31,63	31,23	34,28	34,17	34,47	33,21
Natronsalp.	31,79	30,06	32,32	32,70	33,21	32,02
Chlorsalpet.	31,64	30,00	33,74	32,90	33,50	32,78
Winterweizen: KP	23,10	25,77	—	—	—	—
Kalksalpeter	22,40	22,72	23,72	22,50	24,74	21,80
Natronsalp.	24,20	23,20	23,42	22,24	24,77	23,24
Chlorsalpet.	22,58	22,44	23,76	22,25	23,95	21,17
	50 kg N		75 kg N		100 kg N	
	Körner	Stroh	Körner	Stroh	Körner	Stroh
Zuckerrüben: KP	240,4	26,9	—	—	—	—
Kalksalpeter	269,3	117,4	402,5	120,9	400,2	122,2
Natronsalp.	404,7	119,1	395,2	121,9	421,5	141,2
Chlorsalpet.	261,2	119,2	260,1	118,0	256,2	126,4

Tabelle 10.

Feldversuch 1928 an Zuckerrüben.

Versuchsansteller: Frey-Gockenhelm.

Versuchsleiter: K. Backmann und V. Huppert, Landw. Versuchsanstalt Limburgerhof.

Parzellengröße: 25 qm.

Anzahl der Parallelreihen: 4.

Bodenart: Lehmiger Sand mit neutraler Reaktion; Höhe: 90—100 m NN.

Grunddüngung: 64 kg/ha P_2O_5 als Thormehl.

120 kg/ha K_2O als 50er Kalidüngesalz.

Stickstoffdüngung: 80 kg/ha N in Form von Kalk-, Natrium- und Chlorsalpeter in gleicher Menge am 23. Mai 1928.

Vorfrucht: Tabak.

Ausgepflanzt: 18. Mai 1928. Ernte: 31. Oktober 1928.

Entwicklung: Die Rüben entwickelten sich anfangs sehr gut, litten aber dann stark unter anhaltender Trockenheit.

Mittelerträge an frischen Rüben in t/ha:	
KP	699,34
Kalksalpeter (80 kg N)	653,72
Natriumsalpeter (80 kg N)	625,92
Chlorsalpeter (80 kg N)	642,82

Tabelle 11.

Feldversuche 1928 zu Sommergerste, Winterroggen und Hafer.

Versuchsanstalt: Landw. Versuchsanstalt Limburgerhof.

Versuchsleiter: K. Rackmann. Löw. Versuchsanstalt Limburgerhof.

Parzellengröße: 16 qm. Anzahl der Parzellenreihen: 9 bzw. 12.

Bodenart: Krume; schwach humoser Sand; mit schwach alkalischer

Untergrund: Sand / Reaktion; Höhe 97,2 m NN

Grunddüngung:

Sommergerste:	16 kg/ha P_2O_5 als Superphosphat	} am
	50 kg/ha K_2O als 50er Kalidüngesalz	
Winterroggen:	12,5 kg/ha P_2O_5 als Superphosphat	} am
	62,5 kg/ha K_2O als 50er Kalidüngesalz	
Hafer:	40 kg/ha P_2O_5 als Superphosphat	} am
	75 kg/ha K_2O als 50er Kalidüngesalz	

Stickstoffdüngung in Form von Kalk-, Natrium- und Chlorsalpeter:

Sommergerste: 40 kg/ha N am 25. Februar 1928.

Winterroggen: 50 kg/ha N. Je ein Drittel wurde am 24. Oktober 1927, 24. Februar 1928 und 29. April 1928 gegeben.

Hafer: 50 kg/ha N am 2. März 1928.

Vorfrucht: Sommergerste: Winterroggen.

Winterroggen: Winterroggen.

Hafer: Kartoffeln.

Sorte: Sommergerste: Heines Hanna Original.

Winterroggen: Peltaner Original.

Hafer: v. Lothow Goldhafer, 1. Abz.

Aussaat: Sommergerste: 29. Februar 1928 mit 20 cm Drillweite.

Winterroggen: 25. Oktober 1927 mit 20 cm Drillweite.

Hafer: 3. März 1928 mit 20 cm Drillweite.

Aufgang: Sommergerste: 23. März 1928

Winterroggen: 2. November 1927 } normal

Hafer: 23. März 1928

Entwicklung: normal.

Ernte: Sommergerste: 18. Juli 1908.
Winterroggen: 24. Juli 1908.
Hafer: 18. Juli 1908.
Erträge: Vgl. nachstehende Tabelle.

(Landwirtschaftliche Versuchsanstalt Limburgerhof.)
Feldversuche 1908 zu Sommergerste, Winterroggen und Hafer.
Mittelerträge an lufttrockener Masse in dMha.

		Körner	Stroh
Sommergerste:	KP	37,18	37,48
	Kaliumsalpeter (40 kg N) . . .	41,08	45,81
	Natriumsalpeter (40 kg N) . . .	40,11	44,23
	Chiliumsalpeter (40 kg N) . . .	40,27	44,81
Winterroggen:	KP	35,45	48,68
	Kaliumsalpeter (50 kg N) . . .	37,14	74,08
	Natriumsalpeter (50 kg N) . . .	37,47	71,09
	Chiliumsalpeter (50 kg N) . . .	36,90	72,74
Hafer:	KP	33,33	38,36
	Kaliumsalpeter (50 kg N) . . .	34,08	51,19
	Natriumsalpeter (50 kg N) . . .	33,43	51,03
	Chiliumsalpeter (50 kg N) . . .	33,09	52,17

Zusammenfassend kann man sagen, daß diese zahlreichen Vergleichsversuche im allgemeinen eine völlige Gleichwertigkeit zwischen den synthetischen Salpeterdüngern und dem Jod enthaltenden Chiliumsalpeter erkennen lassen. Hiermit fallen die Behauptungen bezüglich einer ertragsteigernden Wirkung kleiner Jodmengen bei Verwendung jodhaltiger Düngemittel (also des Chiliumsalpeters) auch bei feindmässigem Anbau in sich zusammen. Das Ausbleiben eines deutlichen Anstieges der Ertragskurve bei allen bisher beschriebenen Versuchen läßt einwandfrei darauf schließen, daß das Jod entweder für die Pflanze nur ein unwesentlicher Bestandteil ist oder aber unter den üblichen Wachstumsbedingungen der Pflanze bereits im Optimum zur Verfügung steht. Zahlreiche Untersuchungen, die mit den Ernteergebnissen der angeführten Versuche durchgeführt wurden, liefern auch genügend Anhaltspunkte für die Feststellung, daß durch Jodfütterung Qualitätsverbesserungen, die sich für den Landwirt beim Verkauf in einer entsprechend höheren Bewertung seiner Erzeugnisse auswirken könnten, nicht erzielt werden.

Um die Frage, ob der Landwirt Veranlassung hat, Jod bei seinen Düngungsmaßnahmen zu berücksichtigen, erschöpfend zu klären, will ich mich jetzt der eingingen an zweiter Stelle angeschnittenen Frage zuwenden, ob durch eine zusätzliche

Jodddüngung der pflanzenliche Jodgehalt der Kulturpflanzen erheblich erhöht wird. Im Zusammenhang mit dieser Möglichkeit stehen Bestrebungen, unsere Kulturpflanzen mit Jod anzureichern, um auf diesem Wege jodreiche Nahrungs- und Futtermittel zu erhalten. Sie gehen in der Hauptsache von medizinischer Seite aus, finden aber keine Gegeninteresse auf landwirtschaftlicher Seite, solange der höhere Jodgehalt der Erzeugnisse beim Verkauf nicht entsprechend höher bewertet wird.

Zu dieser Frage sind vor allem in den letzten Jahren zahlreiche Versuchsergebnisse bekanntgeworden. Von den Feldfrüchten wurde bisher die Zuckerrübe am eingehendsten untersucht. In dieser Richtung haben Stoklassa²⁰⁾, M. Andronikow-v. Wrangell²¹⁾ und Scharrer²²⁾ Versuchsergebnisse veröffentlicht. Zu Bunkwürben haben Th. v. Fellenberg²³⁾ sowie Engels²⁴⁾ entsprechende Versuche durchgeführt. Zu Kartoffeln liegen ältere und neue Versuche von M. Andronikow-v. Wrangell vor. Mit Halmfrüchten haben M. Andronikow-v. Wrangell und Scharrer Versuche angestellt. Beide Forscher führten auch Versuche mit Reisklee durch. Von einigen anderen Rohenbsemer und Weizenstephaner Forschern wurde ferner eine Anzahl Gemüsearten und Leguminosen geprüft.

Hiltner²⁵⁾ prüfte die Frage der Jodanreicherung verschiedener Kulturpflanzen durch Jodddüngung und mit Hilfe eines besonderen Spritzverfahrens. Er fand, daß es durch Bespritzung der Blätter mit Jodkaliumlösungen weit besser als durch Jodddüngung gelingt, Pflanzen mit Jod anzureichern. Es bleibt allerdings noch die Frage offen, ob bei der Untersuchung auf Jod nicht auch Jodmengen erfasst wurden, die äußerlich an den Pflanzen haften geblieben waren. Stoklassa, v. Fellenberg und die Weizenstephaner Forscher fanden die Möglichkeit der Jodanreicherung bei Jodddüngung bestätigt. Denesch, Steinfell und Günther (l. c.) stellten in ihren Gafßversuchen zu Möhren bei reichlicher Jodzufuhr eine Jodanreicherung fest. Die im Chilesalpeter vorhandenen Jodmengen hatten aber keine jodspeichernde Wirkung.

²⁰⁾ Biochem. Ztschr. 178, 88 (1926).

²¹⁾ Naturwiss. B., 70 (1927).

²²⁾ Biochem. Ztschr. 185, 469 (1927). ²³⁾ Ebenda 189, 310 (1925).

²⁴⁾ Gartenbauwissenschaft 1, 71 (1928).

²⁵⁾ Fortschr. d. Landwirtsch. 3, 1 (1923).

12 kg Erde) bedeutet aber die Speicherung von nur 0,0049 g Jod bei KJ Zugabe und 0,0006 g J bei Natriumjodat eine sehr schlechte Ausnutzung der „Joddüngung“.

In einer kürzlich erst erschienenen Arbeit von Maurer, Schropp und Duernue⁴⁴⁾ wird festgestellt, daß Spinat, Mangold und Wirsing ein erhöhtes Jodangebot gleichmäßig gut verwerten. Bohnen, Zuckerrüben, Blumenkohl und Kohlrabi brachten dagegen negative Ergebnisse. Orr, Kelly und Stuart⁴⁵⁾ berichten über Jodspeicherungsversuche an Erbsen, Senf, Hafer, Rettich und Buchweizen. Die Mißerfolge von M. Andronikow-v. Wrangell führen sie auf Jodfestlegung im Boden zurück. Th. v. Fallenberg⁴⁶⁾ hat eine ähnliche Feststellung experimentell schon früher gemacht.

Zusammenfassend zeigen die mitgeteilten Versuchsergebnisse, daß die Möglichkeit einer Anreicherung von Pflanzen mit Jod besteht. Allerdings sind Pflanzenart und Bodenbeschaffenheit für das Ausmaß der Einspeicherung maßgebend. Verhältnismäßig gutes Anreicherungsvermögen zeigen einige Gemüsearten, insbesondere Salat und Spinat, die aber von Natur aus schon relativ jodhaltig sind. Gräser verhalten sich ebenso, während die übrigen Kulturpflanzen in dieser Richtung schlecht reagieren. Zucker- und Runkelrüben nehmen als Halophyten anscheinend eine Mittelstellung ein. Es fragt sich nun, ob diese Feststellung auch praktische Bedeutung hat.

Aus den bereits beschriebenen Joddüngungsversuchen ergibt sich weiter, daß die Jodspeicherung hauptsächlich in den vegetativen Organen stattfindet, während die generativen Dauerorgane nur relativ wenig Jod aufnehmen. Die Ergebnisse der Zuckerrübenversuche lassen beispielsweise sehr deutlich erkennen, daß der Jodgehalt der Blätter die in den Wurzeln aufgespeicherten Jodmengen um ein Vielfaches meist übertrifft. Hinzu kommt, daß bei steigendem Geben die Blätter absolut und relativ betrachtet mehr Jod aufnehmen als die Wurzeln. Ähnliches gilt auch für Runkelrüben. M. Andronikow-v. Wrangell stellt in neueren Versuchen erhebliche Unterschiede in dieser Richtung ebenfalls für Kraut und Knollen bei Kartoffeln fest. Die Versuche von Scharrer zu Hafer und Sommergerste zeigen deutlich, daß sich angedüngtes

⁴⁴⁾ Misch. med. Wchschr. 76, 1346 [1928].

⁴⁵⁾ Journ. agric. Scienc. 18, 159 [1928].

⁴⁶⁾ Biochem. Zchr. 118, 336 [1927].

Jod vornehmlich im Stroh und in den Spalten wiederfindet. M. Andronikow-v. Wrangell bestätigt diese Beobachtung. Scharrer machte ähnliche Feststellungen bei Hülsenfrüchten.

Dennach kommt das zugeführte Jod vornehmlich den landwirtschaftlich weniger wichtigen Erntebenerzeugnissen zugute, während die für die menschliche und tierische Ernährung hauptsächlich in Frage kommenden Erntebenerzeugnisse nur geringe Jodmengen speichern und ihren Jodgehalt bei steigenden Gaben in der Regel nur wenig verändern. M. Andronikow-v. Wrangell (l.c.) weist noch darauf hin, daß „auch dieser Umstand das Jod als einen nicht lebenswichtigen Bestandteil charakterisiert, der nicht dorthin geführt wird, wo Reservestoffe abgelagert werden, sondern im Zellsaft gelöst bleibt, wie dies bei der Aufnahme überflüssiger Salzmengen, z. B. bei den Halophyten und Meerespflanzen der Fall zu sein pflegt.“

Abgesehen von diesen Beobachtungen fragt es sich weiter, welche Jodmengen überhaupt bei Jodaufdüngung aufgespeichert werden. Vergleicht man die Joderträge in den Versuchen der verschiedenen Forscher, so stellt man zunächst fest, daß Feldversuche wesentlich geringere Joderträge aufweisen als Gefäßversuche. Ferner findet man recht erhebliche Unterschiede in den von den gleichen Pflanzen in verschiedenen Feld- bzw. Gefäßversuchen eingespeicherten Jodmengen. Sie scheinen indessen, wie u. a. die Versuche von M. Andronikow-v. Wrangell besonders deutlich zeigen, durch die Verschiedenheit der benutzten Böden hinreichend geklärt. Besonders das Jodadsorptions- bzw. Jodspaltungsvermögen der Böden spielt hierbei eine Rolle. Letzteres wird, wie Th. v. Fellenberg sowie Scharrer neuerdings gezeigt haben, durch hohe Wasserstoffionenkonzentration des Bodens erhöht und durch hohen Humus- und Tonkolloidgehalt vermindert. Einigermassen günstige Speicheringesultate wurden auf reinem Sand bzw. Sandboden erzielt. Im allgemeinen reagieren Böden, die normalerweise relativ jedarme Pflanzen hervorbringen, auf eine Jodaufdüngung nicht oder nur sehr unbefriedigend. Andererseits können weniger jedreiche Böden jedreichere Erntebenerzeugnisse als jedreiche Böden liefern.

Berechnet man die von den Kulturpflanzen je Flächeneinheit aufgenommene Jodmengen, so kann man folgendes

feststellen: Nicht mit Jod gedüngte Pflanzen nehmen unter normalen Wachstumsverhältnissen je Hektar etwa 1—2 g Jod auf. Diese Joderträge können selbst unter günstigen Bedingungen durch Joddüngung kaum auf über 10 g/ha gesteigert werden. Das sind Jodmengen, wie sie bereits durch Niederschläge und die atmosphärische Luft der Pflanze zugeführt werden. Abgesehen davon ist aber besonders bemerkenswert, daß man im allgemeinen eine Steigerung des Jodertrages auf das Mehrfache des natürlichen Gehaltes nicht mit Jod gedüngter Pflanzen nur dann erzielen kann, wenn sehr hohe Jodmengen, und zwar mehrere kg/ha, verabreicht werden. Allerdings ist auch dann der Erfolg je nach Bodenart noch recht zweifelhaft, zumal mit der Verabreichung sehr hoher Jodmengen vielfach deutliche Ertragminderungen verbunden sind.

Demnach werden bestenfalls nur einige Hundertstel bzw. Tausendstel der zugefügten Jodmenge in den Ernteerzeugnissen wiedergefunden. Damit wird auch die Tatsache erklärt, daß bei derart geringen Jodmengen, wie sie mit einer normalen Chlorsalpeterdüngung verabreicht werden, fast alle Forscher und auch wir eine Änderung im Jodgehalt der Ernteerzeugnisse überhaupt nicht feststellen können. Gleichzeitig erliegt sich im negativen Sinne auch die Frage, ob es zweckmäßig ist, den praktisch jodfreien Düngemitteln Jod zuzusetzen, eine Maßnahme, die sich übrigens schon im Hinblick auf die beschränkte Jodgewinnung verbieten dürfte.

Zusammenfassend kann man sagen, daß die Möglichkeit einer Anreicherung von Pflanzen mit Jod vom landwirtschaftlichen Standpunkt aus betrachtet bedeutungslos ist. Bei den landwirtschaftlichen Kulturpflanzen (Getreide und Hackfrüchten) ist der Erfolg einer Joddüngung sehr unklar und mit Rücksicht auf die völlig unbefriedigende Ausnutzung des zugefügten Jodes auch sehr gering. Besonders bemerkenswert ist die Tatsache, daß nur bei außergewöhnlich hohen Jodgehalten Jodanreicherung bei bestimmten Pflanzen und auf bestimmten Böden stattfindet. Bei derart geringen Jodmengen, wie sie mit einer normalen Chlorsalpeterdüngung verabreicht werden, wird eine Änderung im Jodgehalt der Ernteerzeugnisse in der Regel nicht erzielt. Erweist sich die von medizinischer Seite aus vertretene Ansicht über den Wert des Pflanzenjodes endgültig als praktisch bedeutungslos, so dürfte die Möglichkeit der Jodversorgung des Menschen durch Gemüse, die von Natur aus schon an sich jod-

reich sind, und die geeignete Auswahl anderer jodreicher Nahrungsmittel allen Ansprüchen vollauf genügen. Vielleicht verdient dann auch das Verfahren von Meyer-Hohenheim⁴⁶⁾ zur Jodanreicherung von Mais größere Beachtung. Solange aber der Nachweis dafür noch nicht erbracht worden ist, ob das jeweils in der Pflanze angereicherte Jod vornehmlich in organischer oder anorganischer Form gebunden ist und ob organische Jodverbindungen physiologisch andere und besser als anorganisch gebundene wirken, dürfte keine Veranlassung bestehen, von dem einfachsten und bisher sichersten Weg der Jodversorgung von Mensch und Tier durch Verabreichung von anorganischen Jodsalzen (jodiertes Kochsalz — wie in der Schweiz) abzugehen.

Damit dürfte auch die Frage, welche Folgen sich aus den mitgeteilten Versuchsergebnissen für die praktische Seite der Pflanzenernährung ergeben, entschieden sein. Ich möchte meine Ausführungen im Einklang mit fast allen deutschen Forschern, die dazu beigetragen haben, die Frage, welche Stellung das Jod bei der Pflanzenernährung einnimmt, zu klären, mit folgenden Feststellungen schließen:

1. Die Behauptung, daß durch Jodbeidüngung eine Ertragssteigerung erzielt wird, kann der exakten Nachprüfung mit Hilfe des Vegetations- und Feldversuches nicht standhalten.

2. Eine Steigerung des natürlichen Jodgehaltes der Kulturpflanzen durch Jodbeidüngung, d. h. eine Jodanreicherung, ist bei übermäßig hohen Jodgehalten u. U. wohl möglich, vom Standpunkt der praktischen Landwirtschaft aus betrachtet im Hinblick auf die geringe Ausnutzung des zugefügten Jodes durch die Pflanze und in Ermangelung genügend verfügbarer Jodmengen aber bedeutungslos.

3. Die Verabreichung geringer Jodmengen, wie sie den Pflanzen mit den üblichen Gaben jodhaltiger Düngemittel (z. B. im Chilesalpeter) zur Verfügung gestellt werden, reicht nicht aus, um irgendwelche Wirkungen auf die Pflanzen in jodanreichernder Hinsicht auszulösen.

4. Es liegt mithin keine Veranlassung vor, der deutschen Landwirtschaft zu empfehlen, das Element Jod bei Düngungsmaßnahmen zu berücksichtigen oder jodhaltige Dünger zu bevorzugen.

⁴⁶⁾ Koch nicht veröffentlicht.

Das Jodproblem in der Tierernährung.

Von Dr. K. Scharrer,

Aus dem agrökulturchemischen Institut der Hochschule für Landwirtschaft und Brauerei Weihenstephan im Verband der Technischen Hochschule München.

Gebeten, ein Referat über das „Jodproblem in der Tierernährung“ zu erstatten, glaube ich dieser meiner Aufgabe am besten nachzukommen, daß ich Ihnen einen knappen Überblick der wichtigsten neueren Arbeiten auf diesem Gebiet gebe und vorher einige Punkte rein physiologischer Art kurz skizziere.

Im tierischen Organismus findet sich das Jod vorwiegend in der Schilddrüse. Doch ist sie nicht das einzige Organ, welches Jod enthält, sondern dieses Element ist im ganzen Körper verteilt. Nicht nur beim Menschen, sondern auch bei vielen Tieren ist nämlich der Schilddrüse der Eierstock das jodreichste Organ. Der Jodgehalt der weiblichen Genitalien erstreckt sich nicht auf das Ovar allein, sondern auch auf Uterus und Tuben. Sowohl v. Feilenberg als auch E. Maurer und Duerne stellten fest, daß die Milch sich durch hohen Jodgehalt auszeichnet. Letztere Forscher fanden auch im Herzmuskel viel Jod und beobachteten an den Orten der Jodausscheidung, besonders in der Unterkieberspeicheldrüse, einen hohen Jodgehalt, während im Verhältnis dazu Lunge und Niere wenig Jod besitzen. Damit ist die Ansicht von Herzfeld und Klinger, daß unter normalen Verhältnissen weder das Blut noch andere Organe, mit Ausnahme der Glandula thyroidea, Jod enthalten, ebenso widerlegt, wie die Meinung Marines, daß die Tendenz für Jodspeicherung lediglich diesen Drüsen vorbehalten sei. E. Maurer und Duerne zeigten, daß bei Schafen die beiden Schilddrüsenhälften sehr unterschiedliche Jodgehalte aufwiesen, eine Erscheinung, die früher schon Eckstein bei Hunden vorfand. Nach jenen Forschern kann der Jodgehalt der Schilddrüse keineswegs als Indikator für den Jodgehalt des Gesamtorga-

nismus gelten, da die Werte in den übrigen untersuchten Teilen unabhängig vom Jodgehalt der Schilddrüsen starken Schwankungen unterliegen.

Unter den Bestandteilen der Thyreoidea sind die von besonderem Interesse, welche man in Beziehung zu den Funktionen dieser Drüse gesetzt hat. Diese Substanzen sind das Jodethyrin, das Jodthyreoglobulin und das Thyroxin. Das Jodethyrin wurde im Jahre 1893 von E. Baumann in der Schilddrüse gefunden und als deren einzig wirksame Substanz betrachtet. Von seinem Entdecker ursprünglich Thyro-jodin genannt, ist das Jodethyrin keine einheitliche Substanz, sondern ein Gemenge verschiedener Stoffe ohne konstante Zusammensetzung. O. v. Fürth und C. Schwarz vermuten, daß es wahrscheinlich ein durch Säurewirkung entstandenes, melanoidartiges Umwandlungsprodukt des jodierten Drüsen-stoffes ist. Jodthyreoglobulin erhält Oswald aus dem Wasserauszug der Drüse durch Sättigung mit Ammonium-sulfat. Es hat die Eigenschaften der Globuline und, abgesehen von dem Jodgehalt, ungefähr dieselbe Zusammensetzung wie die Eiweißstoffe überhaupt. Obwohl Oswald das Thyreoglobulin als das Hormon der Schilddrüse betrachtet, dürfte es nur ein Adsorbat des wirkenden Principles an das Proteingemisch sein.

Kendall hatte im Jahre 1919 aus der Schilddrüse einen Stoff isoliert, den er als Thyroxin bezeichnete und dem er die Formel $C_{15}H_{10}O_4N_2$ gab. Im Verein mit Osterberg glaubte er, ihn als eine Trihydro-trijod-oxy-n-indol-propion-säure ansehen zu dürfen. Er erhielt aus 4540 Pfund frischer Schweineschilddrüsen nicht mehr als 83 g Thyroxin. Die von Kendall angegebene Struktur des Thyroxins ist schon deshalb unwahrscheinlich, weil sich die meisten in der Natur vorkommenden jodhaltigen Körper vom Tyrosin und nicht vom Tryptophan ableiten. Kendall berichtet zwar über die von ihm durchgeführte Synthese seines Thyroxins, doch gelang es bisher nicht, sie zu wiederholen.

C. R. Harrington zeigte nun im Jahre 1926, daß dem Thyroxin eine ganz andere als die von Kendall beschriebene Konstitution zukomme. Die Bruttoformel ist nicht $C_{15}H_{10}O_4N_2$, sondern $C_{15}H_{12}O_4N_2$. Durch Jodabspaltung von Thyroxin erhält Harrington ein Desjodethyroxin; diese Substanz ist der p-Oxyphenyläther des Tyrosins, und diesen Körper konnte er auch synthetisch auf folgende Weise ge-

winnen. p-Bromantol und Kaliumphenolat geben mit Cu-Pulver p-Methoxyphenyläther, der nach dem Verfahren von Gattermann-Koch mit HCN und HCl in den Aldehyd verwandelt wird. Dieser Aldehyd kondensiert sich mit Glykokoll unter dem Einfluß von Natriumacetat und Essigsäureanhydrid in Analogie zur Perkinsehen Zimtsäuresynthese zu einer substituierten Amino-Zimtsäure. Diese wird durch roten Phosphor und Jodwasserstoff unter gleichzeitiger Abspaltung der Methoxygruppe zum p-Oxyphenyläther des Tyrosins reduziert, der identisch ist mit dem aus Thyroxin gewonnenen Desjodothyroxin.

Die herrschende Ansicht ist heute die, daß durch die Schilddrüse des vom Organismus aufgenommene Jod in eine spezifische organische Verbindung, vermutlich in das Thyroxin, übergeführt wird. Dieser Körper wird dann durch innere Sekretion an das Blut abgegeben. Ein Gegner der hormonalen Wirkung der Schilddrüse ist F. Blum. Er ist der Schöpfer der sogen. Entgiftungstheorie, die annimmt, daß das Schilddrüsengewebe eine entgiftende Substanz erzeugt, die in der Drüse selbst ihre Funktion erfüllt. Die Thyreoiden betreffen den Organismus von bestimmten, in ihm kontinuierlich existierenden toxischen Substanzen, indem sie diese aus dem Kreislauf aufgreift. Demnach besitzt die Schilddrüse einmal die Fähigkeit, bestimmte toxische Substanzen aus dem Kreislauf abzufangen, und zweitens sie zu entgiften, und zwar mittels Jod. Blum vertritt den Standpunkt, daß im normalen Blut kein organisch gebundenes und kein von der Thyreoiden herrührendes Jod vorhanden ist. Diese Ansicht Blums wurde bereits von Gay und Bourcet sowie Kendall und Richardson widerlegt und ist nach den einschlägigen Arbeiten von Veil und Sturm, v. Fellenberg, Maurer und Biedl nicht mehr aufrechtzuerhalten.

Den Einfluß kleiner Mengen Kaliumjodid auf die Aufnahme von Stickstoff, Phosphor und Calcium bei wachsenden Schweinen studierte F. C. Kelly. Bei täglichen peroralen Jodgeben von 0,38—0,008 g J in Form von KJ konnte dieser Forscher eine erhöhte Assimilation und Retention von Stickstoff und Phosphor und in geringeren Ausmaßen auch von Calcium nachweisen. Die Größe der diese Wirkung erzielenden Jodgeben hängt nach Ansicht Kellys von der Eigenart der Tiere und von der Art des Grundfutters ab. Welch fütterte Jod an Haustiere in Montana und den an-

grenzenden Gebieten. Früher trat dort eine Krankheit auf, die alle Symptome des Myxödems zeigte. Bei den Schweinen äußerte sie sich in Haarlosigkeit und dicker Haut, bei den Füllen als Kropf und in einer auffallenden Schwäche. Vielfach kamen die Tiere tot zur Welt oder starben bald nach der Geburt. Durch Jodbehandlung der trächtigen Tiere konnte Welch in der Bekämpfung dieser Krankheit gute Erfolge erzielen.

Stiner beobachtete, daß die Jodgaben einen gewissen Einfluß auf das Geschlechtsleben zeigten. Einerseits wurde der Geschlechtstrieb gesteigert, andererseits wurden die mit Jod gefütterten Kühe fast regelmäßig bei der ersten Deckung trächtig, während bei den Kontrolltieren dies meist nicht beobachtet werden konnte. Die Jodgaben bewährten sich nach Stiner auch bei an infektiöser Apsaklie erkrankten Ziegen. Durch Jodgaben an Schafe konnten im Michigan die dort früher bei diesen Tieren herrschenden Krankheiten myxödemähnlicher Art geholt werden, was erst eine rationelle Wollgewinnung ermöglichte. Kalkus studierte das Vorkommen der Kropfe bei Haustieren; er fand hypoplastische Schilddrüsen bei vielen Arten Haustieren in gewissen Gegenden von British Columbia, Washington und Montana. Durch Jodgaben während der Zeit der Trächtigkeit konnte dieser Kropf verhütet werden. Gute Erfolge bei der Schweinezucht durch Befütterung von „aktivem Kalk“ ($\text{CaCO}_3 + \text{KJ}$) zum Grundfutter der Muttertiere machten St. Weiser und A. Zeitschek. Durch eine perorale Jodgabe von 125 mg KJ pro Kopf und Tag an die Mutter Schweine während der Tragezeit konnte eine bedeutend bessere Entwicklung der Ferkel erzielt werden. Nach 10 Wochen betrug das Gewicht der Jodferkel im Mittel 18,5 kg, das Gewicht der Tiere ohne Jodbeifütterung 18,17 kg. An Krankheiten starben während der Versuchsdauer von den Jodtieren 2,85%, von den Kontrolltieren 54,61%. Auch im „Staffordshire Farm Institute“, einer zur Verbesserung der Landwirtschaft in der Grafschaft Staffordshire (England) geschaffene Stelle, wurde die vorteilhafte Wirkung jodhaltiger Mineralmischungen auf das Wachstum junger Schweine erprobt; insbesondere zur Verhütung der Rachitis leisteten solche Mineralstoffgemische gute Dienste. Smith beobachtete, daß bei trächtigen Schweinen durch Jodfütterung eine beträchtlich bessere Entwicklung erzielt werden konnte. Die Versuche wurden auf einer Wirtschaft durchgeführt, auf der die neugeborenen Ferkel Haarlosigkeit zeigten.

J. M. Ryland und C. C. Chibbertson stellten während dreier Jahre ausgedehnte Versuche mit jungen, wachsenden Schweinen unter Verwendung jodhaltiger Mineralnadmischungen mit dem Ergebnis an, daß sie eine Zunahme des Gewichtes um ungefähr 10% bei den jodgefütterten Tieren im Vergleich zu den Tieren ohne Jod bemerken konnten. Nach den Berechnungen der genannten Forscher wurden bei diesen durchgeführten Versuchen durch Jodaufuhr zehn Prozent des Futters erspart.

A. Golf und G. Birnbach fanden, daß eine tägliche Gabe von Jodkalium bei Lämmern die Gewichtszunahme in beträchtlichem Maße zu steigern vermochte. Die Wirkung war bei den Tieren mit unversägerten Geschlechtsdrüsen, bzw. bei den weiblichen Tieren, wesentlich stärker als bei den geschlechtslos gemachten Tieren (Hammeln). Die tägliche Jodkaliumgabe an Lämmer darf dabei höchstens 40 mg je Tier betragen. Stärkere Gaben verringern die Wirkung, und zwar bei Hammeln rascher als bei Zibben. Das Optimum dürfte sicher unter 40 mg liegen.

G. v. Wendt und Möller-Lenhardt bekamen durch Verfütterung jodhaltiger Mineralnadmischungen gute Milchleistung bei Kühen und weisen auf die Bedeutung des Jods für die Ernährung des Nutzviehs hin.

Gemeinsam mit Noyer stellte v. Feilenberg einen Ziegenversuch in der Weise an, daß nach erfolgter Entfernung der Schilddrüse eine kräftige Jodstärkungsung mit Jodtinktur erfolgte. Dadurch stieg der Jodgehalt der Milch auf mehr als das Hundertfache, während er nach fünf Tagen nur mehr ungefähr $\frac{1}{10}$ der anfänglichen Menge betrug.

Umfangreiche Fütterungsversuche wurden am Agrikulturchemischen Institut der Hochschule Weihenstephan an Milchtieren ausgeführt. Die Milch und das Blut von Milchlegen, von denen eine Gruppe ohne Jod, die andere Gruppe mit 60 bzw. 120 und 180 mg Jod zum Grundfutter als NaJ in Tablettenform gefüttert worden waren, wurden auf Jod untersucht. Bei den mit Jod gefütterten Tieren trat unter der Wirkung der hohen Jodgaben eine Vervielfachung des natürlichen Jodgehaltes sowohl der Milch als auch des ebenfalls untersuchten Blutjodspiegels auf. Die Versuche ließen erkennen, daß peroral zugeführtes anorganisch gebundenes Jod trotz gleichzeitiger Fütterung quantitativ vom Darm resorbiert wird. Eine tägliche

Jodzufuhr von über 100 mg bei Milchsäugern führte zu einer Jodierung der Körperflüssigkeiten, insbesondere der Milch, von einer Höhe, die nicht mehr als physiologisch angesprochen werden kann, wenn auch sonst eine schädliche Einwirkung auf den Gesundheitszustand der Tiere nicht festgestellt wurde. Eine durch längere Zeit erfolgte außerordentliche Jodzufuhr hatte bei den Ziegen nicht eine nachträglich anhaltende höhere Jodierung der Körperflüssigkeiten zur Folge. Die jeweiligen Jodgeben blieben ohne Einfluß auf das Verhalten und den Gesundheitszustand der Tiere. Die Jodgeben von 60 und 120 mg pro Tier und Tag verursachten keine scharfen Steigerungen des Milchertrages hervorzurufen. Die Zunahme der Milchmenge durch die Gabe von 60 mg war zudem nur von kurzer Dauer. Im Gegensatz dazu verursachte die Jodgebe von 180 mg pro Tier und Tag eine beträchtliche Steigerung des Milchertrages. Die Untersuchung des Fettgehaltes der Milch zeigte, daß bei einer Jodgebe von 120 mg pro Tier und Tag die absolute Fettmenge höher war, der prozentische Fettgehalt jedoch, bedingt durch die Steigerung der Milchmenge, niedriger erschien. Bei einer Gabe von 180 mg pro Tier und Tag stieg anfangs die absolute Fettmenge und fiel dann wieder, während der prozentische Fettgehalt ständig niedriger war. Irgendwelche Beeinflussung des Gewichtes durch die Jodgeben hatte nicht stattgefunden. Eine Einwirkung des Jods auf die Geschlechtsfähigkeit konnte nicht festgestellt werden.

Die Analysen der Milch der Ziegen eines weiteren Jodfütterungsversuches, wobei Gaben von 7,5 bzw. 15 mg (als NaJ in Tablettenform) verabreicht wurden, erfolgte in der Weise, daß zu verschiedenen charakteristischen Zeitpunkten der Versuchsperioden die Milch sämtlicher Tiere zur Untersuchung kam. Das Resultat bestätigte bei den Tieren ohne Jodfütterung die früheren Ergebnisse hinsichtlich des beobachteten normalen Milchjodgehaltes. Bei den Tieren mit Jodfutter zeigte sich auch noch bei diesen geringen Dosen ein gegenüber der normalen Milch beträchtlich erhöhter Jodgehalt; die Untersuchung der Übergangsgeschwindigkeit des peroral zugeführten Jods in die Milch ergab, daß der Übertritt des Jods in die Milch schon in den ersten 30 Minuten so erheblich war, daß in diesem Teilgemisch die ursprünglich normale Jodierung auf das Zwanzigfache erhöht wurde. Der Kulminationspunkt wurde schon nach wenigen Stunden erreicht und die Rückkehr zur Norm vollzog sich bei erst raschem, dann

langsamem Sinken in vier Tagen. Die Schlußfolgerungen, die aus dieser Untersuchung auf den Chemiesmus dieses zweiten Ziegenversuches gezogen werden können, sind somit ähnliche wie die bereits beim ersten Ziegenversuch erwähnten. Eine durch längere Zeit erfolgte außerordentliche Jodzufuhr hat bei Ziegen nicht eine nachträglich anhaltende höhere Jodierung der Körperflüssigkeiten zur Folge.

Folgend auf den Erfahrungen der Einwirkung des Jods auf Milchziegen wurden die Versuche nun weiterhin auf Milchkühe ausgedehnt. Jodgaben von 1,53 mg (= 3 mg KJ) und 3,82 mg J (= 5 mg KJ) pro Tier und Tag konnten keine sichere Erhöhung des Milchtrages hervorrufen. Gleichwohl äußerte sich der Einfluß der Gabe von 3,82 mg Jod insofern, daß innerhalb des Fortschreitens der Laktationszeit eine deutliche langsamere Senkung der Milchmenge eintrat als bei den Tieren ohne Jod und mit 1,53 mg Jod. Die Wirkung von 78,45 mg (= 100 mg KJ) pro Tier und Tag kam in einer beträchtlichen, während der ganzen Dauer des Versuches anhaltenden Zunahme der Milchmenge zum Ausdruck. Der prozentische Fettgehalt der Milch und die absolute Fettmenge wurden durch die Verabreichung von 1,53 mg Jod etwas vermindert. Auch die Gabe von 3,82 mg Jod verursachte eine geringe Abnahme des prozentischen Fettgehaltes, jedoch blieb die absolute Fettmenge gleich, bedingt durch die höhere Milchsekretion. Eine geringfügige Abnahme erfuhr der Fettgehalt durch 78,45 mg Jod, die absolute Fettmenge jedoch eine beachtenswerte Zunahme durch die verbesserte Milchleistung. Die chemische Untersuchung ergab, daß die Verabreichung einer Jodgabe von 78,45 mg Jod eine bedeutende Steigerung der Milchjodierung zur Folge hatte, nämlich ungefähr die zehnfache Erhöhung der normalen erreichte. Aber auch die Jodgaben von 1,53 und 3,82 mg Jod ergaben noch eine deutliche Erhöhung des Milchjodspiegels (um etwa 40—100%).

F. Kieferle und J. Kettner, K. Zeiler und H. Haensch fanden, daß jede unter normalen Bedingungen abgeschiedene Milch Jod enthält. Bei Weisegras- oder Grünfütterung gewonnene saigte unter sonst gleichen Bedingungen einen merklich höheren Jodgehalt. Es wurde beobachtet, daß während des Rinderns der Kühe eine Erhöhung des Jodgehaltes der Milch auftrat. Die günstige Beeinflussung der Milchergiebigkeit durch Beifütterung jodierten Kochsalzes konnte auf Grund von mit Vollaids durchgeführten Fütterungs-

versuchen aufs neue bestätigt werden. Der Milchjodgehalt der während der Kolostralseperiode gebildeten Milch zeigte bei anfänglich normalem Jodgehalt nach Ablauf von 18 Stunden ein plötzliches Emporschnellen von 82 γ auf 272 γ pro Liter Milch, dem dann ein rasches Absinken in verhältnismäßig kurzer Zeit folgt; 30 Stunden nach der Geburt war der Milchjodgepiegel nahezu wieder normal. Hinsichtlich des Überganges von Jod in die Milch konnte bei Zugabe von jodiertem Kochsalz oder jodhaltigen organischen Präparaten zum Futter bereits in dem nach der Jodfütterung fälligen Gemolk ein der jeweiligen Jodgegabe entsprechend erhöhter Milchjodgepiegel festgestellt werden.

Ein von K. Scharrer und J. Schwaibold durchgeführter Vergleich des Milchjodgepiegels von Tieren an der Nordseeküste mit solchen Oberbayerns ergab interessante Resultate. Der Jodgehalt der Milch von Kühen auf Marschweiden bzw. bei Verfütterung mit dort gewonnenem Heu hat sich um etwa 50% höher erwiesen als in Süddeutschland, wo man für die gleiche Jahreszeit (Sommer) mit maximal 8 γ % zu rechnen hat. Dabei ist zu berücksichtigen, daß die Marschweiden infolge Eindämmung keine direkte Bewässerung durch das Meer haben, ihnen also nur durch das Grundwasser und vielleicht durch die Luft etwas Jod zugeführt wird. Dagegen sind die Halligweiden wiederholten Meeresüberschwemmungen ausgesetzt. Bei den Milchproben von Kühen und Schafen solcher Halligweiden wurde eine mehrfache höhere Jodierung gegenüber der Milch in Oberbayern gefunden, nämlich etwa 500 bis 800% mehr. Dies entspricht einer Größenordnung, wie sie bei den Versuchen in Weißenstephan nur bei Tieren mit einer peroralen Zufuhr von 100 mg KI täglich neben der normalen Fütterung festgestellt werden konnte.

Ein weiterer Fütterungsversuch, dessen Hauptfragestellung die Wirkung einer Mineralmischung auf das Wachstum von Schweinen war, wurde von uns dazu benutzt, um den Jodgehalt wichtiger tierischer Organe zu studieren. Neben einer Mineralmischung ohne Jod wurde auch eine solche mit Jod verwendet. Der natürliche Jodgehalt des Grundfutters betrug 250 γ , das Mehr durch die jodhaltige Mineralmischung 1750 γ , also um 700% mehr. Von den vier Gruppen des Versuches (Grundfutter, Grundfutter + Mineralmischung ohne Jod, Grundfutter + Mineralmischung mit Jod, Grundfutter + Mineralmischung mit Jod + Molkenmilch) wurde je ein Tier unmittelbar am Tage nach der letzten Jodgegabe ge-

schlechtet und der Jodgehalt der Organe bestimmt. Die gefundenen Jodmengen in den Organen der Normaltiere waren nicht wesentlich verschieden von den Ergebnissen anderer Untersucher, z. B. Th. v. Feilenberg. Größere Verschiedenheiten traten aber bei den Versuchstieren hervor. Während Muskel, Fett, Lunge und Herz keine bemerkenswerten Unterschiede gegenüber diesen Organen der Normaltiere zeigten, war der Jodgehalt in Leber, Niere und Milch der Versuchstiere bedeutend höher als bei den Normaltieren. Die Organe der reinen Arbeitstätigkeit (Muskel, Herz) und die Elemente der Speicherung (Fett) wiesen demnach keine erhöhte Jodierung auf, dafür war das um so mehr bei den Organen zu beobachten, die in erster Linie den Stoffwechsel besorgen (Leber, Niere, Milch). Bemerkenswert ist, daß die Reihenfolge des Jodgehaltes der Organe, nach steigendem Jodgehalt geordnet, sich als gleichwertig derjenigen erwiesen hat, die M. Takemura nach subkutaner Verabreichung von KI bei Kaninchen und Maus fand. Zusammenfassend kann über diese Versuche ausgesagt werden, daß der Jodgehalt in den Organen Herz, Lunge, Niere und Milch sowie in Fett und Muskel des Schweines Schwankungen unterworfen ist. Doch ist die Menge, abseht genommen (3—40 $\gamma\%$), gering. Nach längerer peroraler Zufuhr von anorganischem Jod reagieren von den genannten Organen nur Leber, Niere und Milch mit einem merklich erhöhten Jodgehalt (bei der Niere maximal 46 $\gamma\%$); doch hält sich auch hier die absolute Menge in bescheidenen Grenzen.

Bei Untersuchungen über den Jodgehalt der Futtermittel fanden K. Scharrer und J. Schwaibold, daß die Samen- und Wurzelfrüchte der verschiedensten Nutzpflanzen mit erheblich weniger Jod als die übrigen Organe ausgestattet sind. Hon und Grützmehl haben einen relativen Jodgehalt, in allen anderen untersuchten pflanzlichen Futtermitteln hält sich dieser innerhalb der gleichen Größenordnung. Die hohen Zahlen bei den Fischmehlen weisen auf den marinen Ursprung hin.

Vor kurzem erschien eine Arbeit von St. Weiser und A. Zaitseck über den Einfluß des Jods auf das Rindern; diese Forscher kommen auf Grund ihrer einschlägigen Versuche zu dem Ergebnis, daß die Wirkung des Jods bei häufig umfönderten Kühen sich darin äußerte, daß es das Umföndern der belegten Kuh hinderte bzw. das lang ausgebliebene Rindern der Kuh in Gang brachte. Außerdem zeigt sich seine Wirkung

noch darin, daß es die Wiederholung der Brunst bei solchen Kühen begünstigte, bei denen diese sehr unregelmäßig erfolgte.

Schon verhältnismäßig bald war die Tatsache, daß bei medikamentöser Verabreichung von Jodpräparaten Jod in die Milch übergeht, beobachtet und damit auch die Frage nach der Art der Bindung dieses Jods aufgeworfen worden. Bei der in der damaligen Zeit wenig entwickelten Bestimmungsmethodik kleinster Jodmengen sind die älteren Untersuchungen auf diesem Gebiet nur mehr von geringer Bedeutung, und auch die neueren Arbeiten, z. B. von H. Winternitz und Th. v. Feilenberg, haben keine endgültige Klärung gebracht. Neuerdings fanden nun K. Scharrer und J. Schwaibold, daß sowohl bei normaler Milch als auch bei der Milch aus verschiedenen Fütterungsversuchen (mit Jodalkali und Jodtropfen) der Jodgehalt des Milchfettes nicht beachtenswert war, wodurch die Behauptung W. Rasches, daß das Jod in der Milch an Fett gebunden sei, hinfällig wird. Bei einem Fütterungsversuch mit Dijodätharsäure fand sich jedoch mehr als die Hälfte des verhältnismäßig hohen Jodgehaltes der Milch in dem Milchfett. Dieses Jod ist zweifellos an das Fett gebunden, und es scheint daher durch die Milchdrüse ein Teil der verführten Dijodätharsäure der Milch zugeführt worden zu sein. Die Höhe des an die Milchzuckerstoffe gebundenen Jods zeigte bei den verschiedenen Milchproben beträchtliche Schwankungen. Aus den Resultaten war zu ersehen, daß in der Milch normalerweise Jodproteinverbindungen vorhanden sind, deren Menge wechselt. Ebenfalls sehr unterschiedlich ist Menge und Verhältnis des organisch-wasserlöslichen und anorganisch gebundenen Jodanteils. Außer bei Versuchsfütterung mit Jodfett ist die Menge des organisch-wasserlöslichen Jods der Milch immer höher als die an Fett und Proteine gebundene, und die Menge des anorganisch gebundenen Jods meist wesentlich niedriger als diejenige des organisch gebundenen, wasserlöslichen Jods. Es ergibt sich somit, daß das in der Milch regelmäßig vorkommende Jod in der Regel nur zum kleineren Teil anorganisch gebunden ist. Meist findet sich der größte Anteil an die organischen Substanzen des Serums gebunden. Eine kleinere und wechselnde Menge Jod enthalten die Proteine. Das Milchfett dürfte meist kein Jodfett enthalten oder doch nur so geringe Mengen, daß sie bedeutungslos erscheinen. Bei Verfütterung von Jodweiß ändern sich die Verhältnisse wenig. Es ist daher anzunehmen, daß jodierte

Haarsteine des Jodweißes in die Milch übergehen können. Bei Verabreichung mäßiger Mengen Jodkali tritt eine wesentliche Erhöhung des organischen Jodanteils ein. Bei Verfütterung von Jodfettsäure erscheint der überwiegende Teil des überführten Jods als Jodfettsäure bzw. als Glycerid in der Milch.

In einer Arbeit jüngsten Datums berichtet O. Pfeiffer, Bonn-Poppelsdorf, daß sowohl zwischen einem normalen Körperstoffwechsel und der innersekretorischen Funktion der Schilddrüse, wie auch zwischen Energiemangel und Schilddrüse, bestimmte Beziehungen bestehen. Pfeiffer geht dann auf eigene Untersuchungen ein, die zum Ziele hatten, zu prüfen, wie sich die Reifütterung von organischem Pflanzenjod im Vergleich zur Verfütterung von Schilddrüsensubstanzen auf den Energiemangel auswirke; gleichzeitig sollte die Resorptionsfähigkeit zugeführten Pflanzenjods durch eine Jodbilanz geprüft werden. Zu diesem Zwecke wurde zuerst versucht, durch eine Jodbelastung den Jodgehalt von Pflanzen (Möhren und Radischen) bis auf einen dem Jodgehalt frischer Schilddrüsen entsprechenden Wert zu steigern. Es gelang in der Tat, Radischenkesseln bis auf etwa 18 000 γ und Radisenchblätter bis auf 28 000 γ je kg Frischsubstanz, sowie Möhrenwurzeln auf etwa 15 000 γ und -blätter bis auf 20 000 γ je kg anzureichern, gegenüber etwa 100—200 γ in den nicht jodgedüngten Kontrollpflanzen. Zur Prüfung der Resorptionsfähigkeit der Pflanzenjodide wurde ein 15 Pfund schwerer Hund mit gemischter jodarmer Kost gefüttert, der 6 Tage lang 8 g getrocknete Radisenchblätter zugelegt wurden. Die tägliche Jodbelastung betrug 1785 γ . Auf Grund einer Bilanz, die sich auf 13 Tage erstreckte, kommt Pfeiffer zu dem Ergebnis, daß das zugeführte Pflanzenjod sehr gute Resorptionsfähigkeit gezeigt habe, da fast 60% im Körper deponiert wurden. Der Blutjodspiegel, der am 11. Tage kontrolliert wurde, ergab 15 γ in 100 g Blut, somit das 2—3fache des normalen Blutjodspiegels, wie ihn v. Fellenberg bei Kindern fand. Auch der Jodgehalt der Schilddrüse, die 28 Tage nach Versuchsbeginn extirpiert wurde, war sehr hoch und betrug 2136 γ in der 1,45 g schweren Drüse gegenüber 5—35 γ in normalen Hunddrüsen. In einem Parallelversuch mit einem zweiten normalen Hund, der bereits einige Wochen vorher mit Pflanzen- und Schilddrüsenjod belastet war, wurde gleichfalls eine sehr gute Resorption des Pflanzenjods gefunden, ohne daß es allerdings noch zu einer nennenswerten Jodspeicherung wie

im ersten Versuch gekommen wäre. Ein dritter 22 Pfund schwerer Hund erhielt während einer Woche 1.830.000 γ Jod in Form von Jodkali zum Grundfutter; es betrug der Jodgehalt der Schilddrüsen nach dieser Zeit 38 γ in der gesamten Drüse.

Pfeiffer glaubt auf Grund seiner Versuche folgern zu können, daß zugeführtes anorganisches Jod nur dem üblichen Salzstoffwechsel unterliegt und keine nennenswerten Mengen davon im Organismus organisch gebunden werden; jedoch ist es nach Pfeiffer sehr wahrscheinlich, daß das organische Pflanzenjod vom Tierkörper in der von der Pflanze vorbereiteten Form, also in organischer Bindung, resorbiert und danach weiter verarbeitet wird.

Bezüglich der Wirkung des Pflanzenjods gegenüber Schilddrüsenexstase auf den Energiestoffwechsel geht Pfeiffer auf Versuche von Klein und Hertz ein, bei denen sich zeigte, daß bei fortgesetzter Zufütterung von Schilddrüsen nach Verlauf von 2—3 Tagen ein maximaler Sauerstoffverbrauch eintritt, um nach Wegnahme der Schilddrüsenzulage allmählich auf den Normalwert abzufallen. Bei thyreopriven Hunden war die prozentuale Steigerung des Sauerstoffverbrauches nach Schilddrüsenzufütterung noch größer als bei normalen Tieren. Die Schilddrüse könnte demnach als das Regulationsorgan der Oxydation aufgefaßt werden.

Wurde nun die Schilddrüsenexstase entsprechend ihrem Jodgehalt durch eine äquivalente Menge Pflanzenjod ersetzt, so blieb der maximale Sauerstoffverbrauch auf der Höhe des Grundzustandes stehen. Es kann also nach Pfeiffer in den untersuchten Fällen, bei welchen das Tier bereits vorher ausgiebig mit Schilddrüsenjod belastet gewesen war, von einer spezifisch-dynamischen Wirkung des Pflanzenjods auf die maximale Oxydation nicht gesprochen werden.

Ich bin am Schluß meiner Ausführungen. Bei dem besprochenen Thema handelt es sich, wie es mir hoffentlich gelungen ist, Ihnen zu beweisen, um ein zweifellos ungemein interessantes, aber noch im vollen Fluß der Forschung befindliches Gebiet, in dem eine Fülle ungeklärter Probleme noch der Beantwortung harret. Vielleicht ist es mir möglich, Ihnen bei späterer Gelegenheit über weitere Ergebnisse von jetzt in unserem Institut laufenden Versuchen zu berichten^{*)}.

^{*)} Bezüglich Literaturhinweise vgl. E. Scharrer, *Chemie und Biochemie des Jods*, Stuttgart 1936 (Verlag E. Kabe).

Das Zusammenwirken der Elemente Kalium und Natrium beim Pflanzenwachstum.

Von Privatdozent Dr. K. MARWALD.

Aus dem agrarisch-chemischen und bakteriologischen Institut der Universität Breslau.

Die Frage nach dem Zusammenwirken der Elemente Kalium und Natrium beim Pflanzenwachstum führt uns mitten hinein in verwickelte Vorgänge der Ernährungsphysiologie. Sie umfaßt biochemische und pflanzenphysiologische Gesichtspunkte und Beobachtungen in enger Beziehung aufeinander, ohne daß es möglich wäre, die für chemisch eingestellte Leser näher liegende Seite ganz für sich herauszuschälen und darzustellen. Unser Untersuchungsgebiet muß weiterhin in der Weise begrenzt werden, daß wir die Ernährungsverhältnisse der höheren Pflanzen, und zwar hauptsächlich der Kulturpflanzen behandeln, da nur bei ihnen die künstliche Zuführung von Nährstoffen üblich ist und damit das zu besprechende Problem schon oftmals die Aufmerksamkeit auf sich gezogen hat, nicht aber bei den meisten wildwachsenden Pflanzen, die in bezug auf die Versorgung mit den Elementen K und Na auf die ziemlich gleichförmigen Verhältnisse der natürlichen, unbeeinflussten Bodenlösung angewiesen sind.

Unsere Vorstellung von der Rolle des Kaliums, allein betrachtet, als unbedingt notwendiger Energieüberträger und Regulator im Stoffwechsel der höheren Pflanzen ist durch die Forschungen über die Radioaktivität und den lichtelektrischen Effekt dieses Elementes in den letzten Jahren begründet und vertieft worden. Mehrere Arbeiten in der Zeitschrift für angewandte Chemie von W. Mayer¹⁾, Th. Sahalitschka²⁾ und zuletzt von A. Jacob³⁾ über die Rolle des K beim Auf-

¹⁾ W. Mayer, *Zsche. angew. Chem.* 34, 589 [1921].

²⁾ Th. Sahalitschka, *ebenda* 37, 690 [1924].

³⁾ A. Jacob, *ebenda* 41, 298 [1928].

bau der Kohlehydrate zeigen diese fortschreitende Vertiefung ganz deutlich. Zum morphologisch-anatomischen Einfluß des K auf die Entwicklung der Pflanzen hat H. W i e d m a n n *) einen umfangreichen Beitrag geliefert, und eine kürzliche Zusammenfassung von O. N o l t e *) betont besonders die landwirtschaftliche Seite der K-Wirkung.

Ähnlich umfangreiche und gesicherte Ergebnisse über die Rolle des Natriums im Pflanzenleben liegen zur Zeit nicht vor, Seit eine Reihe wesentlich älterer Arbeiten, z. B. von Fr. N e b b e und Th. S i e g e r t †), F. S t o b m a n n ‡), die Notwendigkeit des Na für die höheren Pflanzen sicherstellen, zugleich aber Hinweis auf eine gewisse Nützlichkeit dieses Elements, besonders im Zusammenwirken mit K, brachten, richtete sich die Aufmerksamkeit der Forscher mehr auf diesen letzten Punkt. R. S c h u l z e §) kam sogar zu dem Schluß, daß „das Natron ebenso wie das Kali dem Baustoff für Pflanzen abzugeben und das Kali in dieser Hinsicht bis zu einem gewissen Grade zu ersetzen“ vermag. Eine kritische Studie von E. B l a n c k ¶) über die Bedeutung des Na für die Pflanzen (mit Nutzenwendung auf die Frage der sogenannten Kochsalzfrüchtung) behandelt die bis 1918 erschienenen Untersuchungen auf diesem Gebiet und kommt zu der bereits wieder eng mit der K-Frage verbundenen Feststellung: „Das Natrium ist kein unentbehrlicher Bestandteil der Pflanzen, und eine Vertretung des Kalis durch Natron in der Pflanze erfolgt nicht, wenn man unter einer solchen eine nach bestimmten Gesetzmäßigkeiten sich vollziehende Erscheinung versteht. Das schließt aber nicht aus, daß ein teilweiser Ersatz in geringen Mengen möglich ist und auch wohl zu bestehen scheint.“ P. E h r e n b e r g ††) behandelt hauptsächlich eine indirekte Wirkung der Na-Salze auf

*) H. W i e d m a n n, Ztsch. Pflanzenkrankh. Düngung. Abt. A, 2, 1—76 [1922].

†) O. N o l t e, Landwirtschaftl. Vers.-Stat. 109, 1—122 [1927].

‡) Fr. N e b b e u. Th. S i e g e r t, ebenda 4, 325 [1902]; Nebenergebnis im Verlauf einer Untersuchung über das Chlor als spezifischen Nährstoff der Runkelrübenpflanze.

§) F. S t o b m a n n, Journ. Landwirtschaft. 1903, 41.

¶) R. S c h u l z e, Landwirtschaftl. Vers.-Stat. 79/80, 431, [1913]; Zitat S. 445.

†) E. B l a n c k, Fühlings landw. Ztg. 66, 441 u. 509 [1916].

††) P. E h r e n b e r g, Ldw. Fachpresse Tschechoslowakei 2, 121 u. 130 [1924].

unsere Kulturpflanzen, nämlich vom bodenkundlichen Standpunkt aus. C. B. Lipman und Mitarbeiter¹¹⁾ untersuchen in rein statistischer Weise, nämlich durch Feststellung des Schädigungsbegrades, die Toleranz der Pflanzen für Kochsalz in Wasserkulturen, allerdings mit sehr hohen Konzentrationen von NaCl, deren geringste höher liegt als unsere höchste Na-Salzlösung, weswegen sich ihre und unsere Untersuchungen nicht vergleichen lassen. G. Bertrand und Mitarbeiter¹²⁾ zeigen neuerdings das ganz allgemeine Vorhandensein von Na in den höheren Pflanzen, besonders in Kulturpflanzen, obwohl in manchen Hölzern, z. B. Holunder, nur sehr geringe Mengen davon gefunden wurden.

Bei der Bearbeitung der heute zur Besprechung stehenden Frage der Wechselwirkung dieser beiden chemisch ähnlichen, physiologisch jedoch sehr verschiedenen Alkaliemente, von denen das Na bei seiner Wirkungsweise in einer gewissen, noch nicht näher anzugebenden Abhängigkeit vom K steht, sind zwei Wege möglich: Den einen gehen G. André und R. Demoussy¹³⁾ durch Untersuchung der Verteilung von K und Na in Landpflanzen, also durch analytische Feststellung des Quotienten K : Na in ihren verschiedenen Organen zu verschiedenen Wachstumszeiten. Es treten dabei keine einheitlichen Beziehungen, sondern große Unterschiede gerade durch die jahreszeitlichen Schwankungen auf, die aber mit den schon chemisch bekannten Verschiedenheiten in der Diffusions- und Dialysierfähigkeit der K- und Na-Salze parallel gehen und durch sie erklärt werden können.

Der andere Untersuchungsweg besteht im Gegensatz zum vorgenannten in einer willkürlichen Beeinflussung der Versuchspflanze, also in der Änderung des K : Na-Quotienten in Versuchsreihen ein und derselben Pflanzenart durch Variation der Ernährungsbedingungen und vergleichende Beobachtung der verschieden behandelten Versuchsreihen. Dieser Weg verspricht, sofern man die zahlreichen, noch zu erwähnenden Schwierigkeiten überwinden kann, gewisse und

¹¹⁾ C. B. Lipman, A. R. Davis u. E. S. West, Soil Science 22, 308 (1926).

¹²⁾ G. Bertrand u. J. Perleuxmann, Compt. rend. Acad. 184, 1618 (1927); G. Bertrand u. H. Rosenblatt, ebenda 186, 290 (1928).

¹³⁾ G. André u. R. Demoussy, Bull. Soc. Chim. Biol. 2, 691 (1927).

bessere Aufschlüsse über das Problem als jene bloße Ermittlung des Alkaligehalts der freiwachsenden Pflanzen. In dieser zweiten Richtung liegen einige Untersuchungsergebnisse von B. L. Hartwell u. Mitarb.⁴⁷⁾, die zu dem allgemeinen Schluß kommen, daß einige der Ob liegenheiten von K, mindestens bei einigen Pflanzen, vom Na übernommen werden können, obwohl es gewisse wichtige Funktionen von K gibt, die durch kein anderes Element ersetzt werden können. In der gleichen Richtung hat das in der Überschrift genannte Institut unter Leitung von Th. Pfeiffer und später von P. Ehrenberg schon seit langem gearbeitet. Zwölf solcher Vegetationsversuche an verschiedenen Pflanzen, aber mit vergleichbarem Versuchspflanzen liegen dem heutigen Bericht zugrunde. Die Namen der einzelnen Versuchsansteller nennt die Fußnote⁴⁸⁾; drei der Versuche sind bereits früher veröffentlicht, in dieser Zusammenstellung aber unter anderen Gesichtspunkten weiterverarbeitet worden. Unser Bericht wird außer auf einige einseitige, für die geprüften Pflanzen geltenden Ergebnisse auch auf die mancherlei Schwierigkeiten eingehen müssen, die sich der Ausführung solcher Versuche entgegenstellen oder in ihrem Verlauf entstanden sind, weil deren Erwähnung das ganze Problem zugleich schärfer beleuchten hilft.

Eine Übersicht über die wichtigsten Daten dieser Versuche enthält Tabelle 1. Zu einer Schilderung der Versuchsmethodik ist hier keine Gelegenheit; sie entspricht stets den von Th.

⁴⁷⁾ B. L. Hartwell u. P. H. Wauson, Rhode Island State Coll. Agric. Exper. Stat. Bull. 188 (1918). B. L. Hartwell u. S. C. Damon, ebenda 177 (1919). Hartwell u. Pember, Rhode Island Annual Report 21, 203.

⁴⁸⁾ Versuch Nr. 1, Hafer, 1912; Bericht: Th. Pfeiffer u. A. Rippel (unter Mitwirkung von Pr. Ch. Pfotenbauer), Journ. Landwirtschaft 48, 258 (1920). — Vers. Nr. 2, Kartoffel, 1922; Bericht: W. Metz, Ernährung d. Pflanze 18, 132 (1923). — Vers. Nr. 3, Erbsen, 1926; Bericht: H. Heinrich, Zuck. Pflanzenerzäh. Dünng. Abt. A, 33, 292 (1927/28). — Vers. Nr. 4, 5 u. 6, Sommergerste 1923, Kohlrübe 1923, Pferdebohne 1924; Versuchsansteller K. Maiwald (unter Mitw. v. Ch. Pfotenbauer), Veröffentlichung bis zur vorläufigen Bestätigung der Ergebnisse aufgeschoben. — Vers. Nr. 7 u. 8, Rüben, Kohlrübe und Pferdebohne 1927; Wiederholung, Bestätigung und Mitwertung der Vers. 4, 5 u. 6; Bericht: Dietrich H. Jacob, Breslau 1928. — Vers. 10, 11 u. 12, Hafer in Sand- und Wasserkultur 1928; Versuchsansteller K. Maiwald (unter Mitw. von Ch. Pfotenbauer), noch in Bearbeitung.

Pfeiffer anderwärts^{*)}) niedergelegten Anforderungen an den exakten Vegetationsversuch. Aufsicht, Pflege und tägliche Wasserversorgung der Pflanzen in dem 17 kg Hohenbockauer Quarzsand enthaltenden großen Gefäßen erfolgte streng einheitlich. Die K- und Na-freie Grundnährstoffgabe enthielt N und P₂O₅ in Mengen, die einer reichlichen Versorgung der einzelnen Pflanzenarten entsprachen; daneben bestand sie noch aus Ca, Mg, SO₄, Cl, Fe. Die Sonderdüngung mit K- bzw. Na-Salzen wurde in den Versuchen 1—9 in Form der Sulfate, in den Versuchen 10—12 aus bestimmten Gründen in Form der Chloride gegeben.

Der Versuchoplan der Sonderdüngung hat sich im Verlauf der Jahre in einer wichtigen Hinsicht verändert: Th. Pfeiffer und die folgenden Autoren gingen von dem vorgedachten Gedanken aus, „den Einfluß eines teilweisen Ersatzes des Kalis durch Äquimolekulare Mengen Natrium in verschiedenen Reihen“ zu studieren. So wurde z. B. die Gruppe mit 80 Gesamtäquivalenten Alkali in folgende Grund- und „Ersatz“-Reihen unterteilt: 80/0 (bedeutet 80 mg-Äquiv. K₂O + 0 mg-Äquiv. Na₂O Nährstoffgabe je Gefäß), 80/20, 40/40, 20/60, 10/70; entsprechend auch die Gruppen mit 60, 40 usw. Äquivalenten Gesamtalkali. Mit dem im Verlauf der Versuche nötig gewordenen Aufgeben des Pfeifferschen Ersatzgedankens wurde zugleich der Plan durch Einführung wirklicher Steigerungsgruppen im Sinne zusammenhängender Ertragskurven umgearbeitet und sieht deshalb mit noch einigen anderen Veränderungen in der Abstufung neuerdings so aus:

Anstieg der Na-Steigerungs- gruppen	Anteiligen der K-Steigerungsgruppen				
	0/ 0,	5/ 0,	15/ 0,	40/ 0,	80/ 0
	0/ 5,	5/ 5,	15/ 5,	40/ 5,	80/ 5
	0/15,	5/15,	15/15,	40/15,	80/15
	0/40,	5/40,	15/40,	40/40,	80/40
	0/80,	5/80,	15/80,	40/80,	80/80

Jedes Zahlenpaar bedeutet eine Nährstoffgabe von K₂O + Na₂O in mg-Äquivalenten je Gefäß.

Die waagerechten Reihen umfassen sämtlich K-Steigerungsgruppen ohne bzw. in Gegenwart von wenig, mittel und viel Na;

^{*)} Th. Pfeiffer, Der Vegetationsversuch als Hilfsmittel zur Lösung von Fragen auf dem Gebiete der Pflanzenernährung, 283 S., Berlin 1918.

ihre Zusammenfassung in senkrechter Folge ergibt Na-Steigerungsgruppen, ebenfalls mit verschieden hoher K-Beigabe. Die früher stets fehlende (Versuch 1, 2, 4, 6 in Tabelle 1), aber sehr lehrreiche reine Na-Steigerungsgruppe 0/0—0/80 tritt damit auch auf. Sie und die entsprechende K-Gruppe 0/0—80/0 wurden außerdem durch je vier weitere Zwischenreihen noch im Sinne einer stetig ansteigenden Ertragskurven besser ausgebaut.

Die von uns geprüften Pflanzen sind unter Berücksichtigung der technischen Möglichkeiten des reinen Sand-Gefäßversuchs ausgewählt als typische Vertreter der Getreidearten (Hafer 1919 und 1928; Gerste ist in einem älteren, aber hiermit nicht vergleichbaren Versuch von Th. Pfeiffer u. Mitarb.¹²⁾ benutzt worden; Mais wäre noch der Prüfung wert), der Schmetterlingsblütler (Erbsen (*Pisum sativum*), Pferdebohne (*Vicia faba* var. *minor*)) und der Kreuzblütler [Sommererbsen (*Brassica napus oleifera* var. *assuea*), Rüben (*Brassica rapa*), Kohlrübe (*Brassica napus rapifera*)]. Die letzte Gruppe war uns wichtig wegen des schon im normalen Zustand etwas erhöhten Na-Gehalts ihrer Speicherorgane (und auch Blätter), der in unseren Versuchen bis auf 14% Na₂O in der Kohlrübe gesteigert werden konnte. Endlich wurde untersucht die Kartoffel, nicht aber die Fenchelrübe (*Beta vulgaris*) mit ihrem wesentlich höheren Alkaligehalt, weil bei ihr das K/Na-Problem eine durch die botanische Abstammung begründete Sonderfrage darstellt. Ein Beitrag zu ihrer Lösung ist die in unsere besprochene Versuchereihe gehörige, aber in die heutige Übersicht nicht aufgenommene Arbeit von P. Markwort¹³⁾ über den Einfluß des Kochsalzes auf das Wachstum, die Beschaffenheit der Zuckerrübe und ihren Wasserverbrauch.

Eine Schwierigkeit in unserer Versuchsanstellung liegt darin, daß die zu prüfenden Kationen K und Na stets mit Anionen verkoppelt sein werden, die, auch wenn ihre Menge zusammen mit den Alkaligaben steigt, selbst keine Wirkung auf das Pflanzenwachstum ausüben dürfen, um die gesuchte Wirkung der Kationen nicht zu überlagern oder zu verdecken. Als verhältnismäßig indifferentes, weder ertragssteigernd wirkendes, noch in größerer Menge schädigendes Anion hat man in den Versuchen 1—9 das Sulfat genommen. Na besteht nun

¹²⁾ Th. Pfeiffer u. Mitarb., Mittg. Landw. Inst. Breslau 8, 647 (1908).

¹³⁾ P. Markwort, Züchr. Ver. Dtsch. Zuckerind. 71, 147 (1933).

der durch Berechnungen gestützte Verdacht, daß die Substanzbildung, besonders in ertragreichen Versuchsergebnissen mit hohen Na-Zulagen, doch mit der durch die Beigaben von Natriumsulfat auch erhöhten Sulfatmenge zusammenhängen könnte, was mit dem physiologischen Wert des Sulfatations als wesentlichen Nährstoff auch vereinbar wäre. Dadurch wird die Entscheidung darüber, ob das Kation oder Anion die Ertragssteigerung verursachte, mindestens zweifelhaft. Wählt man nun Alkalichloride als Sonderdüngung, so ist die Möglichkeit einer direkten Ertragwirkung geringer, doch taucht hier die Gefahr einer Schädigung durch die in Begleitung der Kationen in die Pflanzen gelangenden hohen Chlormengen auf. Sie kann zurückgedrängt werden durch Teilung der höheren Salzgaben in eine Anfangs- und eine Kopfgabe (oder mehrere), was aber, wie hier nur angedeutet werden kann, nach den Erfahrungen von 1928 zu eigenartigen Störungen der Stetigkeit der zu erwartenden Ertragskurven führen kann.

Dazu kommt, daß die Frage der besten Grundnährstoffgabe neben stark gestaffelten, also teils sehr niedrigen, teils sehr hohen Sonderdüngungsgebern noch nicht hinreichend gelöst ist. Die geforderte strenge Gleichheit der Grunddüngung im Vegetationsversuch stellt gegenüber früheren Verfahren, gut wachsenden Versuchsergebnissen z. B. mehr Stickstoffkopfdüngung zu geben und somit den vom Sondernährstoff verursachten Wachstumsunterschied eigenmächtig zu verändern, gewiß einen Fortschritt dar, und an ihr muß mangels eines besseren Weges vorläufig festgehalten werden. Aber als bedeutet durchaus nicht das Ideal, denn die Entwicklung der Pflanzen richtet sich doch auch nach dem Verhältnis der dargestellten Nährstoffe untereinander, nach Konzentrations- und antagonistischen Wirkungen der Stoffe, z. B. zwischen den zweiwertigen Elementen Ca und Mg und unsern so prägenden Elementen K und Na, besonders wenn es zu extremen Fällen kommt wie etwa:

Versuchsserie A: Grunddüngung mit gleichbleibender Menge Ca und Mg + 30 mg-Äquiv. K_2O/Na_2O .

Versuchsserie B: Grunddüngung mit gleichbleibender Menge Ca und Mg + 900 mg-Äquiv. K_2O/Na_2O .

Versuchsserie C: Grunddüngung mit gleichbleibender Menge Ca und Mg + 5000 mg-Äquiv. K_2O/Na_2O .

Die zu erwartende Ertragssteigerung von A nach B nur auf das Konto von 75 mg-Äquv. K_2O zu setzen und ferner die Ertragsveränderung von B nach C allein der zugeführten Na-Gabe zuschreiben, ist vermutlich nicht vollkommen einwandfrei (obwohl wir vorläufig keinen anderen Weg einschlagen können), eben wegen der stark auseinandergehenden Konzentrationsverhältnisse von Grund- und Sondernährstoffgabe.

Ferner ist ein unsicherer Punkt der bisherigen Versuchsmethodik der zwar geringe, aber sich bemerkbar machende Gehalt des benutzten Quarzsandes an K und Na, der infolge der verschiedenen bezogenen Lieferungen 0,35–2,45 g K_2O (in heißer Salzsäure löslich) und 1,5–3,9 g Na_2O (ebenso) je 17-kg-Gefäß betrug, dessen für die Pflanze aufnehmbarer Anteil aber unbestimmbar ist, vielmehr je nach der Ausbildung der Wurzeln, dem Auftreten physiologisch saurer Reaktion und der Möglichkeit des Basenaustausches mit Kationen der zugeführten Nährstoffe schwankt. Nicht nur greifen die Pflanzen in K- und Na-freien Reihen dieses Sand-Alkali an, sondern auch in Gegenwart großer Mengen löslicher Alkalibeihe tun sie dies, wie Tab. 2 zeigt. Außer den aus dem Sand aufgenommenen Alkalimengen der 0/0-Reihe sind hier die beobachteten höchsten Mehraufnahmen von Na unter dem Einfluß von K und umgekehrt zusammengefaßt. Sie bieten ein gutes Bild für die eine große Hälfte der Frage des Zusammenwirkens von K und Na, nämlich für die „Bodenwirkung“, die sich außerhalb der Pflanze und wesentlich als Basenaustauschvorgang abspielt (zum Teil aber wohl auch als reine Lösungswirkung infolge physiologischer Acidität des Schwefelsäure- bzw. Salzsäurerestes). Starke K-Zugaben bewirken eine Freimachung von Na aus dem Sande, die bis zehnmal höher liegt als die Aufnahmemengen der Reihe 0/0 (vgl. die waagerechten Spalten 3 gegen 2 in Tab. 2). Bei dem umgekehrt gerichteten Einfluß einer Na-Zugabe auf die Aufnahme von K in die Pflanze (Spalte 4) ist zu berücksichtigen, daß die dort errechneten Zahlen Mehraufnahmen sind über die analytisch gefundene Aufnahme der jeweiligen K-Grundreihe hinaus, daß also eine Entscheidung darüber, ob die Mehraufnahmen aus dem Sande oder aus der höheren K-Grundgabe infolge noch besserer Ausnutzung derselben stammen, nicht eindeutig zu fällen ist. Diese Unsicherheiten verhindern aber in allen Vegetationsversuchen mit Sand, die sonst für das Ver-

Tabelle 2. K- und Na-Aufnahme der Versuchspflanzen aus dem Sande und gegenseitige Aufnahmebeeinflussung von K- und Na-Gaben (= „Bodenwirkung“)

Berechnungsweg	Ma- tar 1	Kar- stoffel 2	Erk- na 3	Kaps 4	Köb- sen 5	Kohl- röbe 6	7	Pferde- bohne 8	9
K-Aufnahme der Reihe 0/0 aus dem Sande, mg K_2O	135	597	321	85	162	202	144	40	219
Na-Aufnahme der Reihe 0/0 aus dem Sande, mg Na_2O	160	97	360	174	129	748	449	61	222
Na-Aufnahme aus dem Sande unter Wirkung von K-Gaben (nur Höchstzahl jedes Versuchs)	1455 9810	196 12810	514 6410	1163 9810	954 1510	1490 3810	920 6410	937 8410	990 1510
Mehraufnahme von K über die Aufnahme der zugehörigen K-Grundreihe hinaus unter dem Einfluß von Na-Zulagen (nur Höchstzahlen)	+154 1510	+303 13148	+217 13148	+432 2210	+336 1510	+334 1310	+159 3210	+500 6410	+47 1510

sind die biochemischen Vorgänge so nützlichen Ergebnisse der Aschenanalysen genauer auszuwerten und gegeneinander aufzurechnen.

Als Ausweg, bei dem solche „Bodenwirkungen“ der beiden Komponenten K und Na ausgeschlossen sind, ergibt sich die Kultur der Pflanzen in Nährlösungen, bei der das mögliche Zusammenwirken von K und Na auf physiologische Vorgänge innerhalb der Pflanze oder an der Wurzelgrenzfläche (gegenseitige Aufnahmeförderung oder -hemmung) beschränkt wird.

Abgesehen von den Schwierigkeiten, die langfristige Wasserkulturen ohne Lösungswechsel in sich tragen¹²⁾ ist dieser Weg für viele Pflanzen nicht recht geeignet (für Leguminosen wegen des Knöllchenwachstums, für Pflanzen mit unterirdischen Speicherorganen) und würde abnormale Pflanzen liefern. Er kann aber, sofern der Stoffwechsel der Versuchspflanze gesund funktioniert, was in unserm Referat Nr. 12 bei nur 8 Pflanzen in großen, täglich mit Luft durchspülten Gefäßen von 11 Litern Fassungsvermögen der Fall war, noch wichtige Ergebnisse für die Entscheidung unserer Frage bringen, die jedoch eine Übertragung auf den üblichen festen Wurzelort unserer Pflanzen, Sand oder Boden, kaum zulassen dürften, eben wegen der dann sofort wieder eintretenden Bodenwirkung.

Für Sandkulturversuche bleibt vorläufig die genaue Feststellung der Trockensubstanzserträge der Versuchsernten und ihr Vergleich untereinander und mit der Nährstoffkombination, durch welche sie hervorgebracht wurden, als die am wenigsten anfechtbare Art der Versuchsauswertung übrig. Tab. 3¹³⁾ und 4 zeigen die Substanzproduktion unter dem Einfluß zusammenwirkender K- und Na-Gaben. Zur Kenntlichmachung einer ertragssteigernden Na-Wirkung sind die Zahlen in der in Tab. 3 näher erklärten Weise als Mehrerträge über den Ertrag der Na-freien K-Grundreihe hinaus dargestellt, unter Befügung der nach dem Fehlerfortpflanzungsgesetz berechneten, in Prozent des jeweiligen Mehrertrags ausgedrückten wahrscheinlichen Schwankung. Die Bedingung, daß ein gültiger Mehrertrag mindestens dreimal größer als die zugehörige Schwankung sein muß, drückt sich also hier übersichtlich darin aus, daß die Schwankungen 33% und weniger betragen müssen, wenn eine Na-Wirkung bewiesen sein soll. Um die Grenze nicht zu scharf zu ziehen, haben wir auch Mehrerträge mit 33—44% Schwankung noch zahlenmäßig eingetragen, die aber schon bezweifelt werden müssen. Alle übrigen ungesicherten

¹²⁾ 1925 berieten wir uns für unsere Versuchszwecke etwas veränderte Nüßlung nach Zinneder; vgl. Sch. H. Zinneder, Landwirtschl. Vers.-Stat. 106, 207 (1927).

¹³⁾ Für die Überlassung von Übersichtsergebnissen in dieser Tabelle und an einigen anderen Stellen aus seiner am Abschluß stehenden Dissertation bin ich Herrn H. Jacob zu Dank verpflichtet (vgl. Fußnote 10).

Tabelle 3. Trockeneinheitsanforderungen (in Gramm) aus vergleichbaren Reihen der Versuche I bis 8. Zahlen in Klammern = entsprechende Brüche der Reihe ohne Na-Beimenge (Mindererträge); Strich-Schälen = Mehrerträge über jenes Grundgetreide hinaus als Wirkung der Na-Beimenge innerhalb jener Gruppe; ± Prozentzahlen = wahrscheinliche Schwankung jedes Mehrertrags, angegeben in Prozent von ihm selbst; „mehr“ bzw. „weniger“ = Richtungen der Abweichung von Grundertrag bei Nahe ungeschalteter Minder- bzw. Mehrerträge.

Stärkehaltige getreide- spezies	Vers. 1 Euter	Vers. 2 Euterfeld	Vers. 3 Erbsen	Vers. 4 Boggen	Vers. 5 Erbsen	Vers. 6 Schnitzbrot	Vers. 7 Schnitzbrot	Vers. 8 Phosphorsäure
K ₂ O %	10,8	10,2	10,0	10,0	10,2	10,2	10,7	10,1
0	80,4	81,8	80,8	10,0	11,7	80,4	81,7	81,7
0	—	—	—	—	7,3 ± 33%	—	mehr	—
0	—	—	—	—	10,7 ± 33%	—	mehr	—
0	—	—	—	—	11,8 ± 33%	—	weniger	—
0	—	—	85,7 ± 13%	—	—	—	—	—
8	11,8	11,8	10,2	10,5	10,9	10,4	79,8	80,9
8	1,0 ± 14%	weniger	weniger	7,3 ± 33%	weniger	mehr	weniger	18,0 ± 13%
8	20,3 ± 18%	mehr	14,4 ± 17%	mehr	7,4 ± 33%	weniger	weniger	50,3 ± 9%
8	60,3 ± 4%	11,8 ± 33%	—	10,0 ± 21%	—	10,8 ± 10%	—	34,0 ± 12%
18	80,7	80,8	81,7	80,8	101,9	101,7	80,8	80,9
18	20,0 ± 13%	mehr	13,2 ± 25%	mehr	10,4 ± 25%	weniger	weniger	18,0 ± 13%
18	50,3 ± 8%	14,0 ± 31%	30,3 ± 18%	7,1 ± 37%	—	mehr	mehr	20,7 ± 10%
18	80,7 ± 3%	mehr	—	10,8 ± 13%	—	mehr	—	mehr
32	100,8	100,0	92,4	80,8	100,8	100,8	80,8	80,1
32	mehr	11,8 ± 33%	weniger	weniger	—	mehr	20,1 ± 13%	weniger
64	100,1	100,9	100,5	81,7	—	100,8	100,1	—
96	100,8	100,8	100,1	71,8	—	100,8	—	—

Abweichungen der Na-Reihen gegenüber der zugehörigen K-Grundreihe nach oben oder unten sind nur dem Richtungsinn nach mit den Worten „mehr“ bzw. „weniger“ angedeutet.

Th. Pfaff¹⁵⁾ und A. Rippel¹⁶⁾ hatten die deutlich ertragssteigernde Wirkung von Na neben K (sichtbar in Tab. 3, Versuch 1) auf Grund von logarithmischen Ertragskurven in folgender Gesetzmäßigkeit ausgedrückt¹⁷⁾: „Das Natrium vermag bei der Trockensubstanzproduktion der Haferpflanze das Kali im molekularen Verhältnis von etwa 0,25 : 1 zu ersetzen, und zwar gilt das selbst dann noch, wenn neben verhältnismäßig geringen Kaliengen recht bedeutende Natriumengen Anwendung finden“. W. Meiss¹⁸⁾ glaubte für die Kartoffel durch eine ganz ähnliche Berechnungsweise ein Ersatzverhältnis von 0,50 : 1 und H. Heinrich¹⁹⁾ auf einem allerdings noch anderen Rechenwege für die Erbsen ein solches von 0,56 : 1 (bei ihm 56% genannt) beweisen zu können. Alle drei berechneten Zahlen müssen wir nach unseren neueren Anschauungen über die Beweiskraft solcher mathematischer Ableitungen stark bezweifeln, aus Gründen, die hier nicht näher ausgeführt werden können. Wir beschränken uns deshalb darauf, eine Verhältnissreihe der bis jetzt geprüften Pflanzen aufzustellen, beginnend mit Hafer 1918, der eine sehr gute Wirkung von Natriumsulfat neben Kaliumsulfat auf die Substanzverzeugung gezeigt hat, und endigend mit der Kohlrübe, bei der keinerlei entsprechende Wirkung zu sehen war. In den Versuchen 1 bis 9 bewegte sich also diese Na-Wirkung in folgender absteigenden Reihe: 1. Hafer, 2. Pferdebohne und Erbsen, 3. Raps und Rüben, 4. Kartoffel, 5. Kohlrübe.

Vergleicht man weiter alle Haferversuche miteinander, um ein Bild über die mögliche Anionswirkung zu bekommen (Tab. 3, Versuch 1, mit Tab. 4), so ist zu erkennen, daß Na in Form von Chlorid (1928) durchaus nicht so eindeutig günstig gewirkt hat wie in der Form von Sulfat (1919). Vielmehr hat das Chlorid, wie auch die Zahlen für die Var- und Haupternte untereinander verglichen zeigen, sowohl Mehr- wie Mindererträge in unregelmäßiger Folge verursacht, so daß eine gesetzmäßig günstige Na-Wirkung im Sinne der alten Pfeifferschen Formulierung nicht beweisbar ist. Immerhin braucht eine solche Aussage über die Wirkungsunterschiede zwischen

¹⁵⁾ A. a. O., S. 26687, Fußnote 13.

¹⁶⁾ W. Meiss a. a. O., H. Heinrich a. a. O., Fußnote 13.

Tabelle 4. Trockensubstanzrückstände (in Gramm) der Versuche 10—12 mit Hafer 1928.
Bedeutung der Zahlen wie in Tabelle 3.

Nährstoff- gabe mg-Aquiv. K ₂ O Na ₂ O		Vers. 10 Vorräte am 30. Juni	Vers. 11 Haupternte am 1. August	Vers. 12 Wasserkultur
0	0	11,9	88,6	Samengewicht
0	5	mehr	— 9,3% ± 44 %	—
0	15	mehr	mehr	—
0	40	mehr	12,1 ± 41 %	—
0	80	—	12,9 ± 43 %	5,4 ± 9 %
5	0	88,6	188,6	14,8
5	5	— 4,7% ± 40 %	— 10,3% ± 18 %	8,7 ± 40 %
5	15	weniger	weniger	—
5	40	weniger	24,3 ± 13 %	mehr
5	80	mehr	25,0 ± 7 %	5,7 ± 25 %
15	0	88,6	188,6	81,9
15	5	4,7 ± 31 %	7,7 ± 30 %	—
15	15	mehr	mehr	—
15	40	5,1 ± 44 %	19,1 ± 19 %	—
15	80	mehr	19,0 ± 22 %	9,2 ± 21 %
40	0	88,6	184,4	81,9
40	5	10,2 ± 29 %	weniger	mehr
40	15	mehr	5,2 ± 36 %	—
40	40	5,6 ± 21 %	weniger	5,1 ± 22 %
40	80	5,2 ± 27 %	7,4 ± 36 %	mehr
80	0	88,6	188,6	88,9
80	5	15,4 ± 13 %	5,9 ± 33 %	weniger
80	15	12,8 ± 14 %	5,3 ± 24 %	—
80	40	11,1 ± 13 %	mehr	mehr
80	80	5,8 ± 28 %	weniger	7,8 ± 39 %

*) 0 bedeutet bzw. Mischverhältnis gewöhnliche Mischungsverhältnisse; alle anderen Zahlen sind Mehrerträge über die festgedruckten Erträge der jeweiligen Kontrollreihe bzw. wie in Tab. 3.

der Salinität- und Chloridbindungsform nicht durchaus gültig zu sein, da sicherlich auch Unterschiede in der benutzten Hafer-
sorte, in der Beschaffenheit des Glasesandes und im Verlauf
der Jahreswitterung zwischen 1919 und 1928 bestanden haben.
Die Entscheidung über den Einfluß des Anionenanteils auf
unserer K-Na-Frage, vor welcher sichere Aussagen über die
eigentliche Rolle des Na neben K nicht gemacht werden kön-

nen, wird also nur gelingen durch Prüfung mehrerer Alkali-bindungsformen im selben Jahr unter gleichen Bedingungen, wozu Versuche im Gange sind.

Als Wirkung einer guten K-Versorgung hat man allgemein bei höheren Pflanzen beobachtet, daß die Ausbildung der zur Festpflanzung und Speicherung dienenden Organe (Körner, Samen, Knollen, Rüben) vorzugsweise gefördert, ihr Anteil an der Gesamtterzeugung der Pflanzensubstanz also erhöht wird¹²⁾. Im Haferversuch 1919 z. B. kommt dies zum Ausdruck durch ein Steigen des prozentigen Körneranteils von rund 17% in der Reihe Q/O, auf 33% in der Reihe 96/O. In der gleichen Richtung haben sich aber auch die beiden im alten Versuchsplan vertretenen Na-Steigerungsgruppen verhalten, nämlich die Körneranteile von rund 21 auf 34% bzw. von 22 auf 40% erhöht (vgl. Tab. 5). Die daran angeschlossenen Berechnungen führten Th. Pfeiffer und A. Rippel¹³⁾ zu der Anschauung, daß das Na auch bei der Körnerbildung des Hafers nach einer bestimmten Gesetzmäßigkeit zu wirken vermag, und zwar mit einem noch höheren „Ersetzwert“ als bei der allgemeinen Trockensubstanzterzeugung, der von ihnen mit 0,50 : 1, also doppelt so hoch angegeben wird. Es wurde dabei aber gefunden, daß hier nur eine indirekte Na-Wirkung vorliegt, die wohl darin besteht, daß in Stengeln und Blättern ein Teil des K durch Na vertreten werden kann und dieser Teil dadurch für die erhöhte Körnerbildung verfügbar wird. Dieser Vorgang zeigt sich beim Studium der Aschenanalysen in der Weise, daß das in den Körnern lagernde K mit steigendem Na-Gehalt einen immer höheren Anteil am Gesamtkalkgehalt der Pflanze bildet, daß man also von einer Mehrbegünstigung der Speicherorgane hinsichtlich der K-Aufnahme als Folge der Na-Beigaben sprechen kann. Bei den übrigen geprüften Pflanzen sind diese Verhältnisse niemals mehr so deutlich hervorgetreten. Bei Kartoffel, Erbsen und Rüben sind die beiden gleichlaufenden Vorgänge, die Steigerung des Knollen- bzw. Samenanteils und die geförderte K-Aufnahme in die Speicherorgane unter Na-Einfluß noch einigermaßen zu erkennen, bei Bohne und Kohlrübe nicht mehr. Die bei Hafer

¹²⁾ Näheres, einschließlich der auch möglichen Ausnahmen von dieser Regel, bei H. Wiesmann a. a. O., Fußnote 4.

¹³⁾ A. a. O., S. 277, Fußnote 18.

Tabelle 5. Verhalten des Körneranteils an der Gesamtpflanzensubstanz bei Hafer unter dem Einfluß der K-Na-Verlagerung. Pfeile zeigen die Gruppen mit stetig wachsenden Körneranteilen an.

Hafer 1919 mit Alkalisulfat		Hafer 1928, Sandkulten, mit Alkalischlorid				Hafer 1928 Wasserkulten, mit Alkalischlorid	
A*)	B**)	A*)	B**)	A*)	B**)	A*)	B**)
Reine K-Steigerung		Reine K-Steigerung		Reine Na-Steigerung		Reine K-Steigerung	
0/0	16,7	0/0	24,0	0/0	24,6	0/0	keine Körner
—	—	5/0	37,7	0/5	22,6	5/0	25,8
8/0	20,9	5/0	40,4	0/5	18,4	15/0	38,0
—	—	10/0	43,2	0/10	20,8	40/0	41,8
15/0	21,5	15/0	45,4 ↓	0/15	24,9	60/0	45,4 ↓
20/0	23,1	20/0	44,6	0/20	24,5	K-Na- Kombinationen	
—	—	40/0	44,8	0/40	20,7	5/5	29,3
34/0	27,8	60/0	44,4	0/60	20,8	5/5	28,5
60/0	34,1 ↓	60/0	43,5	0/60	20,8	5/40	35,7 ↓
K-Na- Kombinationen		K-Na-Kombinationen				5/60	34,7
5/5	33,9	5/5	40,4	40/5	44,3	15/5	33,0 ↓
5/5	33,9	5/5	41,8	40/5	42,1	15/60	35,5 ↓
5/14	27,2	5/15	41,4	40/15	44,5	40/0	41,8
5/35	34,1 ↓	5/40	45,1	40/40	44,7	40/5	33,5
—	—	5/60	45,1 ↓	40/60	45,0	40/40	44,4
10/5	21,5	15/5	43,4	60/5	43,3	40/60	35,5
—	—	35/5	44,8	60/5	44,2	60/0	42,4
15/15	29,3	25/15	45,1	60/15	44,3	60/5	43,8
15/45	30,8	35/45	44,0	60/45	43,8	60/40	44,6
15/60	29,7 ↓	15/60	43,0	60/60	43,5	60/60	47,5 ↓

*) A = Nährstoffgehalt in mg/kg der $K_2O(Na_2O)$.

***) B = Prozent Körneranteil an der Gesamtpflanzensubstanz.

nachweisbare direkte K-Verlagerung zugunsten der Speicherorgane (früher „Kalischlebung“ genannt), die noch über die bloße vorgenannte Mehrbegünstigung hinausgeht und auf der hauptsächlich wohl die damals beobachteten, stark erhöhten Körneranteile beruhen, ist noch einmal bei der Kartoffel zu finden gewesen; bei allen übrigen Pflanzen fehlte sie.

Die Haferwiederholung im Jahre 1938 mit Alkalichloriden zeigt im Sandversuch zwar das zu erwartende gesetzmäßige Ansteigen des Körneranteils durch K-Zufuhr (25—45%, Tab. 5, bei noch höheren Gaben allerdings einen Stillstand), aber außerdem nur noch in der Gruppe 5/0—5/80 ein Wachsen von 40 auf 46% Körneranteil. Die reine Na-Steigerungsgruppe 0/0—0/80, in der sich der Körnerproduktionswert von Na durch Verfügbarmachung der geringen K-Mengen aus Samen und Sand und deren Abschiebung in die Körner eigentlich am deutlichsten auswirken müßte, besitzt einen Körneranteil von im Mittel 28,1% mit den Spielräumen 18,4 und 38,7%, die von dem allgemein unsicheren und oftmals individuell verschieden verlaufenden Wachstum der K-freien Gefälle herrühren. Immerhin liegen diese Werte ganz im Bereich des Körneranteils der Reihe 0/0 mit 24,9% und erreichen sämtlich nicht den von der geringsten K-Gabe (in Reihe 8/0) bereits günstig erhöhten Wert von 37,7%. Das Bild in der Wasserkultur ist allerdings wieder anders und entspricht mehr den Pfeifferaschen Befunden; in 3 von 4 durchgeführten Na-Steigerungsreihen sind die Körneranteile durch die Zugabe von Natriumschloßid deutlich erhöht worden.

Tab. 6 bringt eine Übersicht über die prozentigen Minimal- und Maximalgehalte der Trockenmasse der Versuchspflanzen an K_2O und Na_2O , die noch einige allgemeingültige Schlüsse erlauben. Für mehrere Pflanzen sind zwischen die Grenzzahlen noch erreichbar gewesene entsprechende Durchschnittswerte aus leidmässigem Anbau eingetragenen worden, welche zeigen, daß unsere Versuchsanordnung Pflanzen mit unternormaler wie übernormaler, also beiderseits des Durchschnitts liegender Alkalikomposition gütigart hat, was für die Auswertbarkeit unserer Versuche wichtig zu wissen ist. Dabei ergibt sich, daß die prozentigen Änderungen im K-Gehalt der Speicherorgane regelmäßig sehr eng, beim Laub und Stroh dagegen viel weiter sind. Die Gehalterhöhung beträgt bei Körnern und Knollen im Mittel der sechs Pflanzen nur das Doppelte, beim Laub hingegen das 10fache und zeigt damit die Beharrlichkeit, mit der jede Pflanze die normale Zusammensetzung ihrer Fortpflanzungsorgane zu erhalten sucht, während K-Überschüsse im übrigen Pflanzkörper aufgenommen werden. Es fällt weiterhin auf, daß die überwiegende Zahl der K-Grenzhaltgehalte in Na-freien oder

Tabelle 6. Prozentische Minimal- und Maximalgehalte der Trockenmasse der Versuchspflanzen an K_2O und Na_2O , verglichen untereinander und mit der angewandten Versuchsbedingung (ausgegeben in mg-Äquiv. $K_2O/(Na_2O)$).

Pflanzen	Grosszahlen des percent. Alkali-gehalts	Knollen bzw. Körner oder Rüben			Laub bzw. Stroh			Knollen bzw. Körner od. Rüben			Laub bzw. Stroh		
		% K_2O	gefunden in Versuchsbedingung	Minimale	% K_2O	gefunden in Versuchsbedingung	Minimale	% Na_2O	gefunden in Versuchsbedingung	Minimale	% Na_2O	gefunden in Versuchsbedingung	Minimale
Zartkaffee	Minimum	1,88	8/24	1,7-fach	0,41	8/8	0,088	32,0	0,048	8/0	—	—	—
	Durchschnitt	2,3	—	—	1,8	—	0,1	—	0,2	—	—	—	—
	Maximum	2,90	128/0	1,7-fach	8,10	128/0	0,28	16/112	0,78	16/112	—	—	—
Raps	Minimum	0,87	16/0	1,8-fach	0,28	8/0	0,046	96/0	0,80	32/0	—	—	—
	Durchschnitt	1,1	—	—	1,3	—	0,07	—	0,57	—	—	—	—
	Maximum	1,36	96/0	1,8-fach	2,28	96/0	0,49	16/0	2,29	16/80	—	—	—
Pferdeböhne	Minimum	0,68	8/24	3,2-fach	0,23	4/12	0,09	64/32	0,37	32/0	—	—	—
	Durchschnitt	1,5	—	—	2,3	—	0,047	—	0,8	—	—	—	—
	Maximum	2,01	8/0	3,2-fach	3,78	96/0	0,27	64/0	2,06	16/48	—	—	—
Erbsen	Minimum	0,86	0/64	1,4-fach	0,81	0/64	0,078	12/4	0,86	32/8	—	—	—
	Durchschnitt	1,36	72/24	1,4-fach	4,07	96/0	0,21	64/0	2,07	24/72	—	—	—
	Maximum	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Kohlrübe	Minimum	0,81	8/8	1,2-fach	0,28	8/8	0,46	96/0	0,70	64/0	—	—	—
	Durchschnitt	1,14	96/0	1,2-fach	2,61	96/0	1,43	8/24	2,03	8/68	—	—	—
	Maximum	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Haber	Minimum	0,31	32/32	1,2-fach	0,22	8/24	0,054	64/0	0,42	16/0	—	—	—
	Durchschnitt	1,26	4/4	1,2-fach	2,07	96/0	0,40	16/0	2,48	8/16	—	—	—
	Maximum	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Na-armen Reihen gefunden wurden, woraus man schließen könnte, daß der percentige K-Gehalt der Pflanzen sich doch wesentlich nach der gegebenen K-Düngung und nicht so sehr nach dem Na-Beigeben richtet. Die Grosszahlen der Na-Gehalte zeigen keine besondere Regelmäßigkeit außer vielleicht dieser, daß die Maximalzusammensetzung des Laubes von Raps, Pferdeböhne, Erbsen, Kohlrübe und Hafer sich auf eine

Schemata des Zusammenwirkens der Elemente K und Na bei der Ermittlung der äußeren Plasmazone

Kernsort	Wesentliche Funktionen 4	→ Kernaussagen
Wirkung von K allgemein	Energieübertragung bei der Teilchen- bremsstrahlung (durch Teilchenstöße, Stöße); Anwesenheit von Na mit- unterbreiten. Mitteilern notwendig	Wirkung als übertragendes Element von „Ausbreitungsenergie“ (besitzt das H in Plasmazonen durch K in der Plasma); Erklärung des „Kern- strahlungs- effekts“
Wirkung von Na allgemein	entsprechende wesentliche Wir- kung (Teilchenstöße) ist nicht unbedingt für äußere Plasmazone	als das K. K. Wirkung bei der Teilchenübertragung kann stattfinden, aus der es hoch- stehende „Ausbreitungs-“ von Na selbst K geschlossenen, aber noch nicht bestimmten werden
a) als physio- logische Wirkung bei Ausbreitung von „Kern- strahlung“	erhöhte Verfügbarkeit von K für seine wesentlichen Funktionen	entsprechende Verteilung des K als Ausbreitung durch Na; Verbreitung von K und Na in der Plasmazone ist in Ge- mäßigkeit der Ausbreitung Bedingung oder „Kern- strahlung“
b) im Falle möglicher „Ausbreitung“	–	Es tritt indirekte Na-Wirkung auf durch Fortleitung von K aus dem Plasmakern. Das physio- logische Verhalten der Plasmazone beruht also ebenfalls auf einer statistischen K-Wirkung. Die eine physio- logische Wirkung (Kernstrahlung) oder d) können selbstständig, werden aber von der physio- logischen Wirkung (Kernstrahlung) werden

Wirkung von K und Na
Kernstrahlung

ziemlich gleiche Höhe, nämlich auf 2,06—2,48% Na_2O eingestellt hat. Die Versuchsreihen, in denen die Höchstgehalte gefunden wurden, sind sinngemäß immer solche mit hoher Na-Nährstoffgabe (Typ der Reihe 1630). Dagegen sind die an sich uneinheitlichen prozentigen Na-Höchstgehalte in den Speicherorganen derselben Pflanzen in 4 von 5 Fällen in Na-freien Versuchsreihen aufgetreten (in Tab. 6 durch 1 kenntlich gemacht), können also nur durch erhöhte Löslichmachung des Sand-Natriums durch K entstanden sein, ein Vorgang, der auf die Wichtigkeit der „Bodenwirkung“ bei der K-Na-Frage nochmals ein helles Licht wirft.

Versucht man, diese Ergebnisse zu einem Gesamtbilde zu vereinigen unter Heranziehung noch vieler Einzelergebnisse, die in den Ertragszahlen und den Werten der Aschenanalysen der einzelnen Pflanzen enthalten sind, aber in dieser kurzen Übersicht nicht gebracht werden konnten, so wird es nötig, das von uns schon früher entwickelte Schema der normalen Ionenwirkung in der Pflanze²⁹⁾ etwas zu erweitern. Die allgemein dort vorgenommene Teilung der Wirkung eines Nährstoffs in eine Hauptfunktion im pflanzlichen Stoffwechsel, die teils regulatorischer, teils stoffausgebender Art sein kann und bei der er unersetzlich und durch kein anderes Element vertretbar ist, und eine Nebenfunktion, die mehr im Ladungsausgleich zwischen anwesenden Kationen und Anionen untereinander besteht und bei der die Vertretung durch ein chemisch gleichwertiges Element möglich erscheint, könnte für den Vorgang des Zusammenwirkens von K und Na vielleicht in folgender Form genauer ausgeführt werden:

Eine weitere Prüfung dieser Fragen ist erwünscht und nötig, aber nur aussichtsvoll bei Anwendung einer verbesserten Methodik, die hauptsächlich in der Bemessung von Nährlösungen als alkalifreie Medien statt der Sandkultur und in der Prüfung mehrerer Bindungsformen der beiden Elemente nebeneinander an derselben Pflanzenart im selben Wachstumsjahr bestehen müßte.

²⁹⁾ K. Meiwald, *Zeichr. Pflanzensoöchr. Düngung, Abt. A*, 3, 37 [1927], besonders Abschnitt V, S. 37—38.

Bodenbearbeitung und Düngung.

Von Dr. F. ALLEN.

Aus der Kulturforschungsanstalt in Berlin.

Die landwirtschaftliche Betriebsführung vergliedert sich in eine Unzahl einzelner Betriebsorganisationen, die in ihrer Vielseitigkeit ganz erhebliche Anforderungen an das Können und Wissen des Betriebsleiters stellen. Von allem liegen die Dinge hier so schwierig, weil äußere Faktoren, wie klimatische Bedingungen, oft Umstellungen veranlassen, die sich nicht schematisch von vornherein in die Betriebsdispositionen einreihen lassen. Da andererseits aber die Gesamttätigkeit des Landwirts als organisches Ganzes, in seinem Endeffekt betrachtet, die Wirtschaftlichkeit seiner Arbeit ausweist, so muß jede Betriebsorganisation auf ihre Rentabilität für das Ganze geprüft werden. Beim Ackerbau müssen Bodenbearbeitung und Düngung als die integrierendsten Faktoren der Betriebsführung angesehen werden, weil sie durch ihren erheblichen Arbeitsaufwand den größten Teil des umlaufenden Kapitals des Landwirts beanspruchen. Es ist leicht ersichtlich, daß hier falsche oder richtige Maßnahmen sehr stark ins Gewicht fallen und über Verlust oder Gewinn entscheiden.

Daher ist es schon immer das Ziel von Forschung und Praxis gewesen, die hier auftretenden Wechselbeziehungen zu klären, um Fehlschlüsse zu vermeiden. Der Landwirt mußte bis in die Neuzeit hinein sich auf rein praktische Beobachtungen beschränken, weil die naturwissenschaftliche Forschung ihm noch keine Handhabe bot, in die inneren Vorgänge der Bodenumwandlung Einblick zu gewinnen. Erst in den letzten Jahrzehnten hat die Wissenschaft eingehende Untersuchungen über diesen Fragenkomplex angestellt. Aber leider sind die hier gefundenen Erkenntnisse nicht Allgemeingut geworden, sondern der Bauer arbeitet oft noch nach Rezepten, die schon seinen Vorfahren eigen waren.

Um nun einen Einblick in das in Rede stehende Gebiet zu bekommen, ist es erforderlich, den Boden, der als Träger der Vegetation dient, sich einmal näher anzusehen.

Die Ackererde ist ein Produkt der physikalischen und chemischen Verwitterung der verschiedensten Gesteinstypen. In ihrer Bildung und Zusammensetzung wird sie stark von klimatischen Einwirkungen und von der Vegetation beeinflusst. Ihr Habitus ist mit Ausnahme sehr junger Böden nur wenig abhängig vom Muttergestein und richtet sich fast ausschließlich nach den klimatischen Bedingungen. Nach *Olinka* unterscheiden wir daher zwei große Bodenzonen. Die endodynamomorphen Böden, bei denen die Eigenschaften des Muttergesteins überwiegen, und die ektodynamomorphen Böden, denen das Klima sein Gepräge verliehen hat.

Der letzte Bodentypus ist der am meisten verbreitete und daher auch, vom landwirtschaftlichen Standpunkt betrachtet, der wichtigste. Er soll daher im großen und ganzen dieser Betrachtung zugrunde gelegt werden.

Als einen einfachen Beispiel sei hier die Verwitterung erläutert. Aus einem körnigen, kristallinen Basaltgestein, dem Dolerit, entsteht in gemäßigten, humiden Gebieten ein grauer Tonboden, während aus einem ganz ähnlichen Dolerit im Tropenklima Laterit als Verwitterungsprodukt entsteht. Der gleiche Boden entsteht in den Tropen auch aus sauren Gesteinen, z. B. dem Granit. Die Gegensätze von den gemäßigten humiden Klimaten über aride zu den subtropischen und tropischen Zonen sind daher die bestimmenden Faktoren der Bodenbildungstypen und prägen sich aus in ihrem äußeren und inneren Verhalten. So sind in den gemäßigten humiden Gebieten die Braunerden, in den subtropischen die Rot- und Gelberden und in den tropischen Gebieten die Laterite die vorherrschenden großen Bodenarten.

Für unsere Betrachtung sollen nur die sogenannten Braunerden herangezogen werden, weil sie die bei weitem überwiegenden Bodenarten unseres heimischen Ostdeuts ausmachen. Bei ihnen unterscheidet man drei große Bodenklassen, den Sandboden, bei dem die größeren Bestandteile überwiegen, den Tonboden, bei dem die feineren vorherrschen. Mischungen beider Extreme geben die Lehm Böden. Bis vor kurzem noch waren Bodenbildung und rein makroskopisch feststellbare Merkmale allein ausschlaggebend für die Cha-

Charakterisierung der Bodenarten. Sie waren eigentlich die maßgebenden Wegweiser der älteren Bodenforschung. Erst mit der Entwicklung der Chemie und vor allem der Kolloidchemie war es möglich, sich von dieser alten Anschauung loszumachen und den Zustand, das innere Gefüge des Ackerbodens, mit in den Kreis der Forschung einzubeziehen.

Die Zeiten, wo man glaubte, daß der Chemiker auf verhältnismäßig einfachem Wege in der Retorte die Gesetzmäßigkeiten des eigenartigen Verhaltens der Ackerböden ergründen könnte, liegen noch nicht weit zurück und greifen noch teilweise in unsere heutige Forschung hinein. Je mehr man in dieser Richtung arbeitete, desto undurchsichtiger wurde das Problem, und die Tatsachen, die rein empirisch durch jahrzehntelange Erfahrungen beobachtet waren, wurden verwickelter und verworrener. Bodendefinitionen wurden nur noch ganz einseltigen Gesichtspunkten je nach der Disziplin des Forschers aufgestellt, ohne über den inneren Zustand auch nur das Geringste auszusagen. Der Kolloidchemie erst war es vorbehalten, hier wieder klar umrissene Ziele zu erkennen, und vor allem war es hier G. Wiegner, dem das Verdienst gebührt, neue Wege zur Erforschung des Bodenzustandes beschritten zu haben. Er sagt von ihm: „Der Boden ist eine reversible Dispersion, die in ihrer Zerteilung auf Elektrolytzusatz nach Art eines mehr oder weniger leicht verschlebbaren Dispersitätsgleichgewichtes reagiert.“ Mit dieser Definition werden wir direkt in eine klar vorstellbare Anschauung hineingeworfen; was bisher noch unklar war, sagt dieser einzige Satz aus. Es soll jetzt im nachstehenden versucht werden, einmal aus der Praxis abzuleiten, was G. Wiegner mit seiner neuen Anschauung ausspricht.

Wenn wir unseren Boden in seiner frischen Verwitterungsform betrachten, so haben wir in ihm ein Gebilde, das mit Ausnahme des Stickstoffs alle Pflanzennährstoffe in genügender Menge enthält, um den Ansprüchen einer Vegetation zu genügen. Seine physikalischen Eigenschaften kann man als außerordentlich günstig bezeichnen. Alles in allem genommen, stellt er in diesem theoretischen Zustande das ideale Substrat für die Pflanze dar. Aber der Boden bleibt nicht so, wie er einstmalig war. Sein Gefüge wird durch Erosion, Verwitterung und Anwesenheit stark verändert, er erleidet durch Besamung eine Dispersitätsänderung, d. h. seine Struktur

und auch seine chemische Zusammensetzung wird eine andere. Auch Düngung und Bodenbearbeitung wirken in ganz erheblichem Maße auf das innere Gefüge des Bodens ein.

Wichtig ist nun, daß die einzelnen Salze sich in bezug auf die Dispersitätsänderung recht verschieden verhalten. H. Schulze fand, daß die Wertigkeit der fällenden Ionen einen bestimmenden Einfluß auf die Dispersitätsänderungen eines kolloiden Systems hat, und um ein solches handelt es sich nach G. Wiegner bei unserem Ackerboden. Nach H. Schulze verhält sich die koagulierende Wirkung eines einwertigen zu der eines zweiwertigen bzw. zu der eines dreiwertigen Ions rd. wie 1:17,5:850. Auf unsere Böden übertragen, würde es heißen, daß die gleiche Zerteilungsänderung, die z. B. durch Chlorcalcium in $m \cdot \frac{m}{16}$ — und $\frac{m}{100}$ — Lösung herbeigeführt wird — wobei m molare Konzentration bedeutet —, durch ein lösliches Kalkeisalz mit dem gleichen Anion — also CaCl_2 — schon in $\frac{m}{17,5}$, $\frac{m}{175}$ und $\frac{m}{1750}$ — Lösung verursacht würde. Daraus ergibt sich, rein praktisch betrachtet, daß eine Konzentration von 0,663 g Calciumchlorid pro Liter des Ton zu Staub und von 0,63 g pro Liter des Staub zu Feinsand in einem gewöhnlichen Lößboden zusammenfallen würde. Dies Beispiel gibt schon eine kleine Vorstellung von der stetigen Umwandlung des Bodengebildes. Dem praktischen Landwirt ist diese Erscheinung schon seit langem qualitativ bekannt. Wir finden sie praktisch in der Verwendung des Kalkes zur physikalischen Bodenverbesserung angewandt. Bekannt ist ferner das gerade Gegenteil: die Dichtschlämmung, die durch Flutregen oder Schneeschmelze vor allem bei Böden auftritt, die nicht umgebrochen wurden. Der Boden schlämmt in unseren Klimaten dicht, er wird oft hart wie eine Tesse. Dabei ist das Dichtschlämmen nur zu einem geringen Teil auf die rein mechanische Wirkung des herabfallenden Wassers zurückzuführen, die physikalische Hauptschädigung wird durch Auswaschen von Salzen herbeigeführt. Die vorher durch die Salze in Zusammenflochung und in Krümelstruktur gehaltenen Anteile — vor allem die höher dispersten Anteile des Rohtones — gehen aus der koagulierten Form in die Einzelzerteilung zurück und machen den Boden dicht, so daß der Landwirt ihn nur noch schwer bearbeiten kann. Zwar heißen hier manchmal rein natürliche Vorgänge dem Übel ab. So ist z. B.

der Frost von außerordentlichem Vorteil für die Krümmstruktur. Durch Ausfrieren des ungebrochenen Landes findet in den Bodenböhrungen Abscheidung von reinem Wasser als Eis statt, und es tritt dadurch eine zeitweilige ganz erhebliche Anreicherung an Elektrolyten auf, die unter gewöhnlichen Verhältnissen nie erreicht würde. Praktisch macht der Landwirt durch die sogen. Brüche von dieser reinen Erfahrungstatsache schon seit Jahrhunderten Gebrauch. Sie ist aber nur dann von durchgreifendem Erfolg, wenn genügend Elektrolyte in dem Ackerboden vorhanden sind. Wo dies nicht der Fall ist, muß eben Ersatz an Elektrolyten geschaffen werden, die vor allem durch künstliche Düngung und durch Kalkung dem Boden zugeführt werden müssen.

Unsere landwirtschaftlichen Kulturmaßnahmen bezwecken nun zum Teil, daß diese wichtigen Bestandteile dem Boden erhalten bleiben, einmal weil sie Nährstofflieferanten sind, dann aber auch, weil sie eine günstige Bodenstruktur unterstützen. Auch Zufuhr von Stallmist und Gründünger fördert die physikalische Struktur eines Bodens. Die biologischen Umsetzungen im organischen Dünger liefern reichlich Kohlenstoffe, die u. a. die zweiwertigen Kationen — vor allem den Kalk zu doppeltkohlenstoffurem Kalk — umwandelt, der von sämtlichen Kalkverbindungen als die allein auf die Bodenstruktur wirksame Kalkverbindung angesehen werden muß.

Daher sollte sich der Landwirt nicht unnötig den Kopf zerbrechen, welche Kalkverbindung für seinen Boden in Frage kommt; denn es ist nach neueren Untersuchungen durch E. Blanck und Mitarbeiter festgestellt worden, daß die Umsetzungen von Calciumoxyd zu Calciumcarbonat im Boden derartig schnell verlaufen, daß eine langanhaltende Wirksamkeit doch nur dem Calciumcarbonat zugesprochen werden kann. Es ist daher nur eine rein betriebswirtschaftliche Frage, welche Form des Kalkes Verwendung finden soll. Nur sei hier hervorgehoben, daß bei Kalkdüngemittelanwendung nur feingemahlene Material verwendet werden sollte.

Bisher ist der Boden als eine völlig mineralische Materie betrachtet, aber mit der Düngung mit Stallmist oder Gründünger kommt noch ein Bestandteil hinzu, der die inneren Vorgänge im Boden noch komplizierter gestaltet. Es ist dies die sogen. Humussubstanz. Unter diesem Begriff verborgen sich eine ganze Anzahl organischer Substanzen. Man ver-

suchte früher den Humus als eine einheitliche organische Grundsubstanz zu deuten, und auch heute treten hier und da diese Bestrebungen wieder auf. Für uns ist bei der Betrachtung dieses Stoffes nur wichtig, daß die Humusstoffe auch kolloidale Gebilde, Dispersoide von wechselndem Dispersitätsgrade, sind, d. h., daß sie Teilchen von ganz verschiedener Größe darstellen.

Jeder Landwirt weiß, daß er seinen Acker durch eine Stallmistgabe lockert, und er weiß weiter, daß durch Zufuhr von Waldstreu oft gerade das Gegenteil eintreten kann, wenn nicht eine geeignete Bodenbearbeitung und Fruchtfolge hier Hand in Hand mit den Betriebsmaßnahmen der organischen Düngung geht.

Worauf sind nun diese eigenartigen Erscheinungen zurückzuführen? Sie liegen in dem verschiedenen Verhalten der Humussubstanz begründet. Einmal haben wir es hier mit dem sogen. adsorptiv gestügten guten Ackerhumus und Niedermoorhumus zu tun, der zu biologischen Zersetzungen infolge seiner mehr oder weniger neutralen Reaktion leicht neigt, durch Kohlensäureentwicklung mit ihren Folgeerscheinungen die Elektrolytwirkung der Bodenauflösungen fördert und dem Boden so den sogen. Carcinzustand verleiht. Das andere Mal bekommen wir den sauren Humus, der als Schutzkolloid sich um die auflösenden Agentien der Bodenauflösungen legt und als so in ihrer Wirksamkeit völlig bedeutungslos macht, ja sogar ihre Auswaschung erheblich fördert und Dichtschlämmung auf Grund der Entsalzung entstehen läßt.

Aus dem Vorhergehenden kann nun leicht der Schluß gezogen werden, daß die Auswaschung sich nach einfachen Lösungsvorgängen richtet, aber dies ist im allgemeinen, soweit es sich um schwere oder mittlere Böden handelt, nicht der Fall.

Wie aus dem Gesagten schon ersichtlich, bildet der Boden als Verwitterungsprodukt kolloidchemische Körper, die als die sogen. Bodenexsolute die chemischen Vorgänge maßgebend durch Adsorption beeinflussen. Sie stehen in ihrer Wirkung den Permitten, die in der Technik als Fällfällungssubstanz von hartem Wasser häufig gebraucht werden. Rein chemisch gedacht, sollen diese Körper Calciumaluminiumsilikate sein, denen es auf Grund ihrer Adsorptionskräfte möglich ist, in

Basenaustausch mit den Kationen der Bodenentleerungen zu trennen.

Die praktische Wirkung des Basenaustausches ist nun die, daß die Zeolithe von den Basen z. B. des Ammoniumkations und Kaliumkations fester halten als des Natrium- oder Calciums. Die Ackererde bindet also Ammonium, d. h. Stickstoff, und Kalium und schützt sie vor Auswaschungen, während die dagegen ausgetauschten Basen Calcium und Natrium der Auswaschung verfallen.

Nun sind aber nicht nur die Bodenzeolithe als allein wirkende Faktoren im Boden, sondern wir haben, wie oben angedeutet, auch noch die Humusbestand. Sie arbeitet mit Hilfe ihrer großen Oberflächenwirkung der Austauschreaktion der Zeolithe entgegen, indem sie die durch Basenaustausch freigewordenen und der Auswaschung sonst anheimfallenden Salzkationen adsorbiert und sie so dem Boden erhält. Sie läßt aber nur diese Kräfte aus, wenn es sich bei ihr um gesunden absorptiv gesättigten Humus handelt.

Der saure Humus dagegen beschleunigt auf Grund seiner Schuttkolloidwirkung den Basenentzug und seine Auswaschung. Praktisch kann man diese Vorgänge jederzeit an den Abwässern von Hochmooren beobachten.

Soweit die Grundlagen der neuzeitlichen bodenkundlichen Anschauung, die dazu nötig sind, das in Frage stehende Problem verständlich zu machen.

Im vorübergehenden ist gesagt, daß der Boden alles andere ist als eine einderartige Materie und daß es nicht so ganz einfach ist, hier alle Wechselbeziehungen in einem Arbeitsgang zu erledigen.

Wir wenden uns nunmehr den praktischen Maßnahmen des Landwirtes zu und wollen nachfolgende Fruchtfolge: Rüben, Winterweizen, Klee, Winterroggen und Hafer unserer Betrachtung zugrunde legen. Ein Blick in die Ackeranalysen zeigt uns, daß diese fünfjährige Fruchtfolge bei Normalernten dem Acker pro Hektar etwa 300 kg N, 480 kg K₂O, 500 kg CaO und 200 kg P₂O₅ entzieht. Durch unsere modernen Bodenanalysen sind wir eingetwaßen in der Lage, das Nährstoffkapital und die Bodenzusammensetzung zu studieren. Weiter gibt uns das Kunstdüngeregister des buchführenden Landwirtes Aufschluß über die Mengen an Nährstoffen, die

alljährlich in Form von Stallmist und Kunstdünger wieder dem Acker zugeführt werden. Aus diesen Daten lassen sich dann rein rechnerisch Näherungswerte ermitteln, die sehr gute Anhaltspunkte für die Düngemaßnahmen des Landwirtes ergeben. Aber leider muß hier festgestellt werden, daß es nur wenige fortschrittliche Landwirte gibt, die nach diesen Gesichtspunkten die Nährstoffbilanz ihres Gutes regulieren. Meistens wird rein respektlos verfahren und dadurch einseitig das Nährstoffkapital des Bodens angegriffen. Hierdurch entstehen dann durch Verschiebung des chemischen Gleichgewichtes ganz erhebliche Bodenschädigungen, die Dickschlammung und Bodenversauerung zur Folge haben.

Betrachten wir jetzt einmal Düngung und Bodenbearbeitung, wie sie in einem gut geleiteten Betriebe durchgeführt wird. Nach der Ernte sehen wir sofort den Landwirt mit dem Schälplug auf dem Acker. Nur ganz flach werden die Stoppseln umgeworfen; hinter dem Schälplug folgt die Egge. Diese Maßnahmen zeitigen nun eine ganz erhebliche Anzahl von Folgeerscheinungen. Durch die Ernte und Auswaschung während der Vegetationsperiode sind dem Boden Nährstoffe und vor allem große Wassermengen entzogen, die das kolloidale Gefüge des Bodens weitgehend nach der Dispersitätsseite verschoben haben. Durch die Arbeit des Schälpluges und der Egge werden die zusammengehaltenen Bodenkörper mechanisch verkleinert und die Elektrolyte, die zum Teil durch Schutzkolloide in ihrer Wirksamkeit als koagulierende Agentien beeinträchtigt waren, nachhaltig mobilisiert. Das fast erstorbene Bakterienleben wird wieder zu neuer Tätigkeit angeregt und beginnt wieder Kohlensäure zu bilden, die dann wiederum Kalk zu Calciumcarbonat umsetzt, das dann seinerseits auf Grund seiner starken Koagulationswirkung dem Boden eine krümelige Struktur, die sogenannte „Gare“ verleiht. Auf der anderen Seite werden durch Schälplug und Egge die Bodenkapillaren durchbrochen und Lufträume in das Bodengefüge eingelegt, die einer weiteren Wasserverdunstung entgegenarbeiten. Auch wird durch diese Maßnahmen weitestgehend die Unkrautbekämpfung gefördert.

Aber diese Bodenbearbeitung genügt für die Bestellung noch nicht, sondern nach etwa 4—6 Wochen sieht man, wie der Landwirt mit einem anderen Pflug seinen Acker bis zu

30 cm und tiefer bearbeitet. Durch diese Maßnahme sollen nun auch die tieferen Schichten mechanisch zerkleinert und in Gärzustand versetzt werden. Um nun hier die Folgeberechnungen zu klären, ist es erforderlich, daß wir uns einmal genau über die chemisch wirksamen Agentien, wie sie in einem Bodenprofil auftreten, Klarheit verschaffen. Die Oberkrume hat immer den größten Anteil an wasserlöslichen Salzen, weil das Wasser und dadurch auch die Salze hauptsächlich mit Hilfe der Capillartätigkeit nach oben geführt wird. Nur relativ geringe Mengen an Wasser verlassen den Acker durch die Drainage. Es ist daher ohne weiteres verständlich, daß auch die oberen Bodenschichten auf Grund ihres größeren Anteils an koagulierenden Elektrolyten die beste Bodenstruktur aufweisen müssen, die vor allem durch ihr lockeres Gefüge der Wasserverdunstung nachhaltigst entgegenarbeitet. Dadurch werden andererseits natürlich auch die tieferen Schichten davor bewahrt, daß ihnen größere Mengen an Salzen entzogen werden, die eine Dispergierung des Bodens zur Folge haben.

Wie sieht es nun aber im allgemeinen mit dem Tiefpfügen in der landwirtschaftlichen Praxis aus?

Der durch Schälkultur und Eggen in Krümelstruktur gebrochene Boden wird oft vermittelst eines Schälbrettes, das am Pflug angebracht ist, in die Furche geworfen und von den Erdmassen, die das Streichblech umlegt, völlig verdeckt. Durch diese Maßnahme wird der dichtere Untergrund zur Oberkrume und die lockere Oberschicht zum Untergrund. Die Folge davon sind sofortige Dichtschlammung, starke Wasserverdunstung und teilweise Zerstörung des Bakterienlebens.

Um diesem Übel abzuhelfen, ist man in der Neuzeit dazu übergegangen und hat das Schälbrett am Pflug in Formfall gebracht und das Streichblech ganz erheblich ausgeweitet. Nach Versuchen, die Prof. Römer, Halle, mit diesem neuzeitlichen Bodengerät ausgeführt hat, sollen 70% der bewegten Bodenanteile der Oberkrume in ihrer Lagerung bleiben und nur 30% nach unten wandern. Es ist dies sicher schon ein sehr guter Erfolg, aber trotzdem muß es das Ziel der landwirtschaftlichen Maschinenindustrie sein, ein einfaches Gerät zu konstruieren, das dem Boden bei der Bearbeitung in gleicher Lage behält. Zwar leistet hier die Ackerfräse sehr gute Arbeit, aber leider konnte sie sich bis heute noch nicht

allgemein einführen, weil ihre Beständigkeit vorläufig noch an dem sehr hohen Anschaffungspreis scheitert.

Aus dem Vorhergehenden haben wir nun einen kleinen Einblick in die dauernden Wechselbeziehungen der Ackerumwandlung bekommen und haben gesehen, daß oberstes Gebot für die Bodenbearbeitung die Schaffung der Gare ist. Aus ihr resultieren dann ohne weiteres günstiger Wasserhaushalt und optimales Bakterienleben.

Aber die landwirtschaftlichen Maßnahmen sind nicht nur Bodenbearbeitung, sondern auch Düngung. Unter Düngung verstehen wir die Ersatznährstoffe, die dem Boden von Jahr zu Jahr wieder zugeführt werden müssen, weil sie mit jeder Ernte dem Boden entzogen werden. Auf rein chemisch-analytischem Wege sind diese Stoffe eindeutig genug bestimmt, es handelt sich hier um Kohlenstoff, Sauerstoff, Wasserstoff, Stickstoff, Eisen, Magnesium, Calcium, Phosphorsäure, Kali, Chlor und Schwefel. Es sind dies 11 Stoffe, die mit jeder Ernte dem Boden entzogen werden, und sie sind alle notwendig für das Wachstum der Pflanzen; denn sobald nur einer fehlt, kann keine Vegetation stattfinden, wie durch wissenschaftliche Versuche oft genug bewiesen ist. Aber trotzdem denkt kein Landwirt daran, seine Düngung auf alle angeführten Nährstoffe auszu dehnen, weil die Natur eigentlich, bis auf vier Ausnahmen, der Vegetation reichlich genug davon zur Verfügung stellt. Für die Düngung selbst bleiben nur Stickstoff, Phosphorsäure, Kali und Kalk übrig. Wir brauchen daher nur diese in den Kreis unserer Erörterung einzubeziehen.

Bei ihrer Anwendung als Düngemittel wird nun leider recht oft rein schematisch verfahren, und hier liegt daher meist eine große Gefahr, die sich nicht leicht äußerlich kenntlich macht, sondern im Laufe der Jahre zu allen möglichen Bodenkrankheiten Anlaß gibt.

Jeder sollte wissen, was einseitige Düngung für ein Übel ist, und mancher Landwirt hat es ja schon sich selber genug am Lagern oder Erkranken der Pflanzen festgestellt.

Wenn die künstlichen Düngemittel auf das Land gestreut werden, dann muß man sich immer sagen, daß dies Salze sind. Es sind anorganische Verbindungen, die nach rein chemischen Gesetzmäßigkeiten reagieren und, auf dem Boden ausgestreut, entweder zerteilend oder zusammenballend auf seine Struktur einwirken. Ihre Kationen treten in den sogenannten Basen-

austausch mit dem Zoolithen ein, der Regen wäscht die freien Kalklösungen zum Teil aus, und auch die Pflanze, die auf dem Boden wächst, hoßt sich soviel von den vorhandenen Nährstoffen, wie sie zu ihrer Vegetation braucht oder ihr gegebenenfalls noch zur Verfügung steht. So findet im Boden eine dauernde Veränderung des chemischen Gleichgewichtes statt, und damit ist ein dauernder Wechsel der inneren und äußeren Struktur verbunden, der um so schädlicher in Erscheinung tritt, wenn größere Basenverarmung erfolgt ist.

Der Boden, der bei der Frühjahrspflanzung noch im Gareizustand war, wird dichter und dichter, weil die Basen ihm entzogen sind, und zeigt oft noch der Aberutung deshalb zementartiges Verhalten, weil in der Oberkrume durch Ernteaentzug und Auswaschung völlige Entlassung Platz gegriffen hat. Die für das Pflanzenleben wichtigen Bakterien können nicht mehr gedeihen, weil es ihnen unter diesen Bedingungen an Sauerstoff mangelt; dadurch wird im Boden kaum noch Kohlensäure gebildet, die unbedingt notwendig für die Reaktionsfähigkeit des Kalkes ist, sondern die sogen. sauren Humate treten in Erscheinung, und das erste Anzeichen der Bodenversauerung, die sogen. hydrolytische Acidität, macht sich bemerkbar. Für das Pflanzenwachstum ist die hydrolytische Acidität nicht gefährlich, denn die wässerigen Auszüge derartiger Böden reagieren nicht sauer, sondern manchmal sogar alkalisch. Da sie aber das Anfangsstadium der Basenverarmung und damit gleichzeitig der Bodenversauerung ist, verdient sie Beachtung.

Diesen Zustand der hydrolytischen Acidität stellt man fest, indem man den Boden mit der Lösung eines hydrolytisch gespaltenen Salzes, z. B. Natriumacetat, ausschüttelt und das Filtrat mit Natronlauge titriert. Auf den Boden angewandt, kann man sich den Vorgang so vorstellen, daß durch den im vorhergehenden besprochenen Basenentzug der Boden so weit an freien Basen verarmt ist, daß neben Humaten freie Humussäure vorherreicht. Dieser Komplex verleiht dann dem Boden die mehr oder weniger saure Reaktion der hydrolytischen Acidität.

Durch längeres Verbleiben derselben im Boden wird die Entlassung des Ackers mit Hilfe der Schuttkolloidwirkung der sauren Humusstoffe noch weiter begünstigt. Den bisher noch neutral reagierenden Bodenzoolithen werden nunmehr Basen

entzogen. Dadurch wird ihre Reaktionsfähigkeit derartig erhöht, daß sie selbst aus Neutralsalzen Basen adsorbieren. Wir nennen diesen Zustand Austauschacidität. Dabei tritt nach Kappens Ansicht in dem an Kalk verarmten Zeolith Aluminium in Basenaustausch mit Kalium oder Ammonium und hydrolytisch gespaltenes Aluminiumsulfat in die Bodenlösung, das dann seinerseits die saure Reaktion des Bodens erhöhen soll.

Die Ermittlung der Austauschacidität geschieht durch Behandeln des Bodens mit Chloralkaliumlösung und nachherige Titration des Filtrats der Chloralkaliumlösung mit Natriumlauge. Diese Art der Bodenversauerung gilt für die landwirtschaftliche Praxis als die gefährlichste.

Wir sehen somit, daß beide Aciditätsstufen nicht von freier Säure, sondern lediglich von hydrolytisch gespaltenen Salzkomplexen herrühren. Das eine Mal haben wir schwache organische Säure und das Alkalisalz derselben — Humat, Humussäure —, das andere Mal schwache Base und starke Säure — Aluminiumkation und starkes Sulfuranion —, die dem Bodengebilde den Aciditätsgrad verleihen. Derartige Körper werden, biologisch gesprochen, „Puffer“ genannt, weil ihnen die Fähigkeit zukommt, Änderungen der Reaktion bis zu einem gewissen Grade auszugleichen.

An einem einfachen Beispiel sei nun nachfolgend die Wirkung einer Puffersubstanz erklärt. Dazu sei das sogenannte Standard-Acetatgemisch, bestehend aus 1 Mol. Natriumacetat und 1 Mol. Essigsäure, herangezogen, das einen p_H -Wert von 4,88 hat. Läßt man zu dieser Lösung eine starke Säure hinzutreten, dann treten die Acetationen des völlig dissoziierten Natriumacetats mit den H-Ionen der stärkeren Säure zu Essigsäure zusammen, und es werden nur soviel H-Ionen übrig bleiben, wie der Dissoziationskonstante der Essigsäure entsprechen. Das heißt: Solange das Äquivalentverhältnis Natriumacetat zu starker Säure nicht überschritten wird, solange wird der p_H -Grad am Acidimeter fast gleich bleiben, weil nicht die starke Säure, sondern die Essigsäure den Reaktionsgrad angibt. Bei Zusatz starker Basen ist der Vorgang analog.

Gerade dieser Umstand ist, auf unseren Boden angewandt, von weittragender Bedeutung, weil dieser ein stark gepuffertes System darstellt und dadurch natürlich imstande

ist, große Mengen von Säuren oder Basen, die ihm evtl. durch künstliche Düngung zugeführt werden, zu puffern. Dadurch wird die freie Säure, die aus physiologisch sauren Düngemitteln dem Boden zugeführt wird, unwirksam gemacht, weil sie den Reaktionsgrad des Puffers nur dann verändern kann, wenn ihr Mengenverhältnis die Äquivalenzgrenze der Puffersubstanz überschreiten würde. Dies ist aber bei unseren heimischen Bodentypen, soweit es sich nicht um reinen Sand handelt, nicht der Fall, wie dies durch die Arbeiten von Kappen und Niklas dargelegt ist.

Daraus ergibt sich nun für den Praktiker die Folgerung, daß man auf schweren und mitteren Böden der Frage der physiologischen Reaktion der Düngemittel nicht allzu großen Wert beimessen sollte; denn der Boden ist nun einmal kein steriler Sand oder eine Nährleiste, wie sie bei Wasserkulturen Verwendung findet, sondern er ist ein kolloidchemisches Gebilde, in welchem die chemischen Reaktionen nach kolloidchemischen Gesetzmäßigkeiten verlaufen. Im Boden ist daher in erster Linie darauf zu achten, daß die Bodenpuffersubstanz möglichst dem Neutralpunkt nahe gebracht wird; dies ist aber nicht einseitig zu erreichen, sondern hier muß der Landwirt neben Voll düngung mit Kali, Stickstoff, Phosphorsäure und Kalk eine intensive Bodenbearbeitung und verständige Fruchtfolge durchführen, die eine gute Bodendurchlüftung und Regulierung des Wasserhaltevermögens gewährleistet.

Nunmehr soll versucht werden, aus der landwirtschaftlichen Praxis einmal die Schäden einseitiger Betriebsmaßnahmen abzuleiten. Zu diesem Zweck sei ein mittlerer Lehm Boden gewählt, auf welchem sämtliche Kulturpflanzen wachsen würden. Der Boden wird gepflügt, gesiegt, und als Saat soll Roggen bestellt werden. Im Frühjahr folgt das Feld u. a. Stickstoffmangelerscheinungen. Der Landwirt ersetzt jetzt einseitig durch Stickstoffdüngung, z. B. Ammoniumsulfat, das Nährstoffdefizit. Mit dieser Düngung werden gleichzeitig natürlich auch die anderen Nährstoffkomponenten des Bodens, z. B. Kali, Kalk und Phosphorsäure, mobilisiert und von der Pflanze verbraucht. Zuerst nimmt die Pflanze selbstverständlich die ihr am leichtesten zugänglichen Nährstoffe, die adsorptiv gebundenen, aber später schließt sie auch die im Bodenkollektisch festgelegten Nährstoffe auf. Die nicht von der

Pflanze aufgesaugenen Anionen der Ammoniumsulfatdüngung bilden mit dem im Boden vorhandenen Kalk den relativ leichtlöslichen Gips, der durch Regen ausgewaschen wird.

Wir wollen nun annehmen, der Landwirt bent auch in dem kommenden Jahre weiter Winterung an und seine Düngemaßnahmen bleiben weiter Ammoniumsulfat. Es ist nun leicht ersichtlich, daß der Prozeß der Basenvorratung immer größere Dimensionen annimmt. Kalk ist nicht mehr vorhanden, und die Sulfationen verbinden sich mit dem Aluminiumhydroxyd des Bodens und bilden das hydrolytisch gespaltene Aluminiumsulfat, das sauer reagiert.

Der Boden ist im Laufe der Jahre dichter und dichter geworden, die Humusabnahme flingt an, saure Humate zu bilden und arbeitet durch Schenkheidwirkung noch kräftig an der Entbasung mit. Bodenbearbeitung und Bestellung lassen sich zur noch schwer durchführen, und der Landwirt erkennt bereits an den Ernten, daß hier nicht alles in Ordnung ist. Nun besinnt man sich langsam darauf, daß man einmal von Volldüngung gehört hat, wendet sie auch im kommenden Jahr an, aber der Nutzeffekt bleibt hinter den Erwartungen zurück. Jetzt wird Kalkdüngung verabsolgt, und siehe da, im ersten Jahr steigern sich die Erträge, weil oberflächlich geringe Calciumbicarbonatbildung möglich war, um aber im nächsten Jahr wieder auf dem alten Niveau zu barren, da nunmehr der Kalk, bereits von Tonclößen umgeben, unwirksam geworden ist.

Jetzt ist man ratlos und sucht nach dem Strenfried und glaubt, ihn in der Anwendung dieses oder jenes Düngemittels gefunden zu haben. Man wechselt nunmehr die Düngesalze und wendet statt der physiologisch sauren, physiologisch neutralen oder gar alkalischen an, und meistens wird nichts dadurch gebessert. Die Rasterträge gehen trotzdem zurück, wie dies in der Nachkriegszeit häufig genug beobachtet ist.

Im Vorhergehenden habe ich gerade zur Beschreibung eines extremen Falles meine Zefucht genommen, weil es leichter ist, an ihm das uns interessierende Problem zu studieren, und ich weiß, daß durch gedignete Fruchtfolge hier vieles nicht so plötzlich in Erschöpfung tritt und vieles sogar zur Erhaltung der alten Bodenkraft beiträgt, wenn die Eifügigkeit in Bodenbearbeitung und Düngung zurücktritt.

Zusammengefaßt ergeben sich annäher folgende Gesichtspunkte. Zu Anfang unserer Erörterungen ist die Erklärung des Begriffes Boden in kolloidchemischer Richtung durchgeführt, aus der zu ersehen ist, daß Bodenazidität und Humusazidität die bestimmenden Faktoren des Bodenbildes sind. Es ist gezeigt, wie der Boden durch Düngung, Bodenbearbeitung, Fruchtfolge und klimatische Einflüsse verändert wird. Daraus ist zu folgern, daß nicht Einzelexperimente, sondern das Zusammenwirken der gesamten landwirtschaftlichen Betriebsmaßnahmen ausschlaggebend auf das innere und äußere Gefüge des Bodens wirken. Somit ergibt sich weiter, daß man nicht von einem Bodenaziditätsproblem reden sollte, sondern von dem Problem einer Veränderung der Bodenpufferazidität. Sie läßt sich aber nicht durch einseitige Kalkdüngung auf lange Sicht abstellen, sondern nur durch die Wechselbeziehungen zwischen intensiver Bodenbearbeitung und daraus resultierender Erhaltung des Basenzustandes, der in erster Linie von der Bildungsfähigkeit des Calciumbicarbonats abhängt.

Will man daher seinen Boden gesund erhalten, dann muß dem Boden durch Stallung oder Gründünger unter Befügung einer mineralischen Volldüngung von Stickstoff, Kali, Phosphorsäure und Kalk, durch intensive Bodenbearbeitung unter strikter Berücksichtigung der Fruchtfolge zwischen Winterung und Sommerung, zwischen Pflanzwurzeln und Tiefwurzeln seine alte Kraft erhalten werden. Tut man dies, dann wird in kurzer Zeit auf unseren deutschen Böden wieder die Bodenazidität verschwunden sein. Stellt man aber die einseitigen Betriebsmaßnahmen noch länger in den Vordergrund, dann werden im Laufe der Jahre noch mehr Krankheitserscheinungen im Ackerboden zu verzeichnen sein.

Literaturverzeichnis.

- K. Mielowitzer, „Die Bestimmung der Wasserstoffionenkonzentration von Flüssigkeiten“, Berlin 1923. — O. Wiegner, „Boden und Bodenbildung in kolloidchemischer Betrachtung“, Dresden 1929. — M. Trézel, „Die wissenschaftlichen Grundlagen der Bodenaziditätsfrage“, Berlin 1927. — H. Gassen, Intern. Mitt. f. Bodenkunde 1913, Bd. III, Heft 4, und 1920, Heft 1/2. — Kappen und Reutterfeld, Zentr. Pflanzenernähr. Düngung, Abt. A, VII. — E. Blanck und Lohmann, ebenda III (1924). — E. Blanck und Scheffer, ebenda IV (1925). — H. Freundlich, Kolloidchemie 1922.

Chemische und biologische Ziele neuerzeitlicher Stalldüngerbehandlung.

Von Priv.-Doz. Dr. G. RUSCHMANN.

Aus dem Institut für Gärungsgewerbe in Berlin.

Mit Recht wird die Versorgung der Äcker mit einem guten Wirtschaftsdünger als billige und wirkungsvolle Maßnahme betrachtet, den fruchtbareren Zustand der Böden zu erhalten und zu erhöhen. Durch wissenschaftliche Untersuchungen hat es sich herausgestellt, daß nur ein verhältnismäßig geringer Teil der im Stalldünger vorhandenen Werte ausgenutzt wird. Außerordentlich groß sind die alljährlich auftretenden Verluste, so daß es eine landwirtschaftliche wie volkswirtschaftliche Aufgabe von höchster Bedeutung ist, hier Wandel zu schaffen. Handelt es sich nach den neueren Forschungsergebnissen doch um ungefähr 14 Milliarden Reichsmark, die mit Sicherheit gerettet werden könnten.

Die Aufgabe lautet einmal, den anfallenden Dünger vor Verlusten nach Möglichkeit zu bewahren und die Menge desselben durch Mitverwendung anderer organischer Abfälle aus der eigenen Wirtschaft zu vermehren. Andererseits muß aber auch die Beschaffenheit oder der Wirkungsgrad des Düngers unbedingt verbessert werden. Es fragt sich, ob und auf welchem Wege diese Forderungen zu erfüllen sind?

Ein guter Wirtschaftsdünger bildet auch stets die beste Grundlage für die Anwendung von Mineraldünger. Es muß also nicht Stall- oder Mineraldünger, sondern Stall- und Mineraldünger heißen. Nur unter dieser Bedingung lassen sich Höchstsernten erreichen. Und zwar kommt der Mineraldünger um so besser zur Wirkung, je sorgfältiger der Stalldünger bereitet wird.

Von vornherein hat man sich die Frage vorzulegen, ob sich denn das Ziel einer weitgehenden Bewahrung der

Trockensubstanz im Stalldünger mit der Erhöhung seiner Nutzwirkung vereinbaren läßt. Der Wert desselben ist in hohem Maße von der Rote abhängig, die mehr oder weniger große Verluste an Trockensubstanz mit sich bringt. In einem gut getrockneten Dünger sollen die leicht zersetzlichen stickstofffreien Verbindungen wie Kohlehydrate, Pektine und dergl. der Einstreu oder des sonstigen pflanzlichen Materials so weit abgebaut sein, daß sie beim Unterbringen des Düngers in den Boden keinen schädlichen Einfluß mehr ausüben vermögen. Gelingen sie in unverminderter Menge in denselben, so gehen hier Gärungen und Umsetzungen vor sich, durch welche Nitrat und Ammoniak, die die Pflanze zum Aufbau ihres Körpers benötigt, in großem Umfange festgelegt werden. Danach scheint es so, als ob eine von bedeutenden Verlusten begleitete Zersetzung der Einstreu und übrigen pflanzlichen Abfälle notwendig wäre, damit der Mist einen hohen Düngewert erreicht.

Anders liegen die Verhältnisse bei den stickstoffhaltigen Verbindungen. Sie sollen ihrer Menge nach soweit wie möglich während der Stalldüngergärungen erhalten bleiben und in eine leicht zersetzliche Form übergeführt werden, damit sie im Boden eine schnelle Umwandlung in assimilierbare Pflanzennährstoffe erfahren. Sind aber im Dünger, wie vorher erwähnt wurde, reichliche Mengen leicht vergärbbarer Kohlehydrate und kohlehydrathaltiger Verbindungen zugegen, so beschäftigen sich die Bakterien und Pilze im Boden des Stickstoffs und bilden ihn zu Körperstoffs um. Anstatt daß sie also die Ernährung der höheren Pflanzen sicherstellen, machen sie diesen die wichtigsten Nährstoffquellen streitig. Bei Zufuhr eines nachgemäß behandelten Stalldüngers und richtiger Bearbeitung des Ackerbodens kommt aber die Tätigkeit der Organismen in entgegen gesetzter Richtung zur Geltung, indem sie den Abbau der abgestorbenen pflanzlichen und tierischen Überreste bewirken. Hierin sind sie auf Grund ihrer erteillichen diastolatorischen Kräfte, die sich auf alle nur denkbaren organischen Substanzen erstrecken, besonders befähigt.

Aus den dargelegten Gründen geht hervor, daß der Stalldünger eine ungenügende oder selbst ertragvermindernde Wirkung zeigen kann. Trotzdem besitzt er ebensoviel Nährstoffe wie ein gut bereiteter Dünger. Es ist

also verkehrt, den Wert denselben einfach nach seinem Gehalt an Pflanzennährstoffen Stickstoff, Kali und Phosphorsäure beurteilen zu wollen. Ein Dünger mit verhältnismäßig wenig Nährstoffen aber vorzüglicher Rote vermag einen größeren Nutzeffekt zu erzielen als ein sogenannter gehaltreicher Dünger. Derartige Beispiele beweisen, daß man, um die Wirkungen des Stalldüngers zu verbessern, den in ihm verlaufenden Gärungen die größte Beachtung zu schenken hat.

Wenn man aber den biologischen Vorgängen im Stalldünger eine derartig wichtige Rolle beilegt, muß man angeben, daß alle Versuche, ihn zu konservieren, d. h. ihn in seiner ursprünglichen Verfassung zu erhalten, als falsch zu bezeichnen sind. Durch Zuzufüg von Chemikalien trachtete man in früheren Zeiten, die Umsetzungen im Stalldünger zu verhindern oder so weit zu unterdrücken, daß wesentliche Verluste an Stickstoff und Trockensubstanz nicht eintreten. Doch übersah man hierbei, daß auf diese Weise die unbedingt notwendige Rote unterbunden wurde. Die beste Stalldüngerpflege ist die, welche bei geringsten Verlusten gute zur Reife führende Stoffumwandlungen bewirkt.

Das Ziel ist derselbe zu erreichen. Wenn man dem Verlauf der biologischen Umsetzungen im lagernden Stalldünger seine Aufmerksamkeit zuwendet, wird man die Richtigkeit dieser Behauptung einsehen. Es soll deshalb im folgenden von den Gärungsvorgängen und ihrer Bedeutung unter besonderer Berücksichtigung der systematischen Heißvergärung des Düngers die Rede sein.

Die Bereitung von Heiß- oder Gärmistdünger darf wohl im allgemeinen als bekannt vorausgesetzt werden (H. Krantz, J. Weigert, O. Kron usw.). Starkes Pressen, möglichst vollkommener Luftabschluß und gute Wärmebewahrung nach Eintreten von Temperaturen bis ungefähr 60° C sind die wichtigsten Faktoren für die Erzielung eines einwandfreien Gärproduktes. Nicht aus jedem heißvergorenen Stalldünger entsteht ein typischer Heißmist nach H. Krantz. Die Selbstreizung allein darf nie als maßgebend hingestellt werden. In dieser Beziehung sind von gärungswissenschaftlich und technologisch nicht genügend unterrichteter Seite bis in die letzte Zeit hinein schwere Fehler begangen worden. Und doch liegen die Dinge sehr einfach. Typischer Heißmist reift langsam heran, und zwar nur, wenn die für

seine weitere Behandlung und Aufbewahrung wichtigen Gesichtspunkte voll berücksichtigt werden. Es wird gleich zu erörtern sein, aus welchen bakteriologischen und chemischen Gründen die Vorschriften für die Herstellung von Heißmist genau innegehalten werden müssen.

Einwandfrei gewonnener Heißmist besitzt ein dunkelbraunes bis schwarzes Aussehen, eine neutrale oder nur schwach alkalische Reaktion und eine fast einheitliche Beschaffenheit. Bemerkenswert ist ferner seine Geruchlosigkeit. Noch vorhandene kleine Streichhölzchen zeigen starke Mürbung und geben auch dadurch die eingetretene vorzügliche Rolle zu erkennen. Zu diesen besonderen äußeren Eigenschaften kommen noch die inneren, nur bakteriologisch und chemisch feststellbaren Merkmale.

Es fragt sich nun, wie die systematische Heißvergrüfung wirkt oder wirken soll, welche biologischen und chemischen Veränderungen dabei an dem Gärmaterial vor sich gehen, und welche Bedeutung diese für den Dünger und seine Wirkung auf dem Felde haben. Aus diesen Darlegungen erkennt man am besten, worauf die vorzüglichsten Erfolge beruhen, welche von autoritativer Seite mit einwandfrei gewonnenem Heißmist in vergleichenden Düngungsversuchen immer wieder erzielt worden sind.

Bei der schnellen Erwärmung des locker aufgeschichteten Stalldüngers tritt anfänglich eine Vermehrung der Bakterien und Pilze ein, die sich bei weiterem Steigen der Temperatur sofort wieder in eine deutliche Reduzierung verwandelt. Bei 60° C ist nur noch die thermophile, d. h. thermotolerante und obliegt thermophile, Flora in Tätigkeit. Alles andere, was diese hohe Temperatur nicht mehr auszuhalten vermag, stirbt ab oder geht in die gegen chemische und physikalische Einflüsse widerstandsfähige Sporenform über, die keine Umsetzungen mehr hervorufen kann. Die thermophile Flora ist aber anagesprochen aerob, denn auf den von ihr bewirkten intensiven Oxydationsprozessen, die nur bei Anwesenheit ausreichender Mengen Luftauerstoff vorantreiben gehen, beruht die Selbstheizung des Stalldüngers. Sie übersteigt unter Umständen sogar 70° C, soll aber über 60° C nicht wesentlich hinausgehen.

Wird nun der locker aufgeschichtete Stalldünger nach seiner Erwärmung geprüft, so verdrängt man

sowohl durch das jeweilige Niedertreten der betreffenden Schicht, als auch besonders durch das sofortige neue Auftragen von Dünger bald alle Luft aus ihm. Mit dem Anwachsen des Stapels nimmt der auf die Unterlage ausgeübte Druck derartig zu, daß das vorher stark lufthaltige und poröse Material völlig dicht und sauerstofffrei wird. Dieser Vorgang ist in Verbindung mit der Wärmebewahrung von größter Wichtigkeit. Es ist darum ein grundlegender Fehler, wenn man etwa in kleinen Behältern Stallfänger in einer einzigen Schicht zur Heißvergärung bringt und dabei höhere Temperaturen längere Zeit zur Wirkung kommen läßt. Das folgende einmalige Pressen allein kann weder den so notwendigen Luftabschluß herbeiführen, noch den Fortgang der Gärungen verhindern, noch die Wärmebewahrung sicherstellen. Mit einem derartigen Gärprodukt vorgenommene Düngungsversuche müssen trotz genauester Durchführung zu einem Fehlschlag werden. Es kann nicht wundernehmen, wenn solcher Dünger unverhältnismäßig hohe Verluste an Trockensubstanz und Stickstoff erlitten hat, die bei einwandfreiem Arbeiten nie zu beobachten sind. Bestiglich zahlreicher Angaben für diese Behauptung sei auf die einschlägige Literatur von F. Löhrie²⁾, H. Gläse³⁾, W. Goeters⁴⁾, E. Scheibe⁵⁾, Th. Remy, E. Klotter und F. Weiske⁶⁾ verwiesen. Es würde über den Rahmen des Vortrages hinausgehen, Einzelheiten dieser Art zu erwähnen.

Erleichtert wird die schnelle und weitgehende Verdrängung des Sauerstoffes aus dem heißvergorenen Dünger besonders durch die starke Wasserdampfbildung, die im Verein mit der Wärme als leichtes und gleichmäßiges Feuchtwerden und Quellen des Strohes zur Folge hat. Dadurch verliert dieses seine sperrige Beschaffenheit. Einstreu, Exkremente und andere mitverwendete tierische und pflanzliche Abfälle werden schließlich zu einem plastischen und fast einseitlich zusehendem Material, das in günstigem Gegensatz zu jedem kaltvergorenen Dünger steht. Es enthält absolut keine Luft mehr und kann schon aus diesem Grunde keine oerwünschten und verlustreichen Gärungen mehr aufweisen.

Eine weitere Folge des wirksamen Pressens des heißen Düngers ist die Tatsache, daß die allein noch am Leben gebliebene, stige thermophile Flora, die zu ihrer Exi-

stanz den Sauerstoff benötigt, ebenfalls zugrunde geht. Sie bildet Sporen aus, soweit sie unter den herrschenden Bedingungen dann instande ist. Die Zahl der im vegetativen Zustande vorhandenen Bakterien und Pilze nimmt also im Dünger immer mehr ab, bis schließlich alles aktive Leben in ihm erloschen ist. Er kann auf Grund der angewandten sehr wirksamen Dauerpasteurisierung als „praktisch steril“ bezeichnet werden. Solange der so behandelte Dünger vor Luftzutritt bewahrt bleibt, also in geschlossenen, völlig dichtem Gärblock lagert, sind in ihm merkliche Verluste ausgeschlossen. Sie hängen lediglich von biologischen Umsetzungen ab, wie ältere Versuche gezeigt haben, in denen dem frischen Dünger stark antiseptisch wirkende Mittel zugesetzt wurden.

Sehr eigenartig ist nun, daß der in vorstehender Weise gewonnene, einwandfreie Heißmist trotz bester Erhaltung der Trockensubstanz und schnellster Unterdrückung aller Gärprozesse nach längerer Lagerung doch eine auffallend starke Rott- und völlige Mürbung der strohigen Bestandteile aufweist. In dieser Beziehung kommen dem fertigen Gärprodukt beste Eigenschaften zu. Die Hinstreu ist strukturell und chemisch stark verändert und sozusagen in der Gesamtmasse mit untergegangen.

Typischer reifer Heißmist stellt ein bröckelig-krümeliges, torfähnliches Material dar und zeichnet sich dementsprechend durch ein weit fortgeschrittenes Stadium der Humifizierung aus. Es ist verständlich, daß ein solches Produkt auf dem Felde andere Wirkungen wie ein gewöhnlicher Hol- und Tierstaldünger zeigt, auch wenn sie sachgemäß behandelt wurden. Der Wert des Heißgärverfahrens gründet sich gerade auf die Erzielung eines vorzüglichen Reifezustandes des Düngers bei geringen Substanzverlusten. Damit wäre das Problem der rationalen Staldüngerbehandlung um einen großen Schritt vorgeklimmt.

Bei Untersuchung des 3 bis 4 Monate alten, abgelagerten heißvergorenen Düngers fällt, wie gesagt, vor allem seine in so vollkommener Weise eingetretene Reifung auf. Trotzdem hat er nur einen Rotteprozeß von 3 bis 5 Tagen durchgemacht. Unmittelbar nach dieser Zeit besitzen die Strohhalme noch die bekannte Zähigkeit und Zerreißfestigkeit in vollem Umfange. Von einer wahren Rotta, die stets einem biologischen

Vorgang darstellt, kann aber nicht mehr die Rede sein. Dazu fehlt es an allen Voraussetzungen. Die weitgehende Mürbung der Klärschlamm- und Humifizierung der Substanz müssen vielmehr chemischen und physikalischen oder höchstens enzymatischen Prozessen zugeschrieben werden. Diese Vorgänge werden durch den völligen Sauerstoffabschluß, die Wärmeabfuhr und den hohen Druck, dem die Masse im Stapel ausgesetzt ist, aufs wirksamste gefördert.

Unter den hier bezeichneten Bedingungen können selbstverständlich die Umsetzungen nicht so tiefgreifender Natur wie bei den aeroben Abbauprozessen sein, die unter dem Einfluß einer zahl- und artreichen Mikroflora verlaufen. Bei den Reifungsvorgängen, infolge deren der heißvergorene Dünger mit der Zeit immer wertvoller wird und höhere Ernteerträge abwirft, muß daher eher von Stoffumwandlungen statt von wirklichen Abbauprozessen gesprochen werden. Es kommt hier z. B. die wichtige Bildung von Huminstoffen in Betracht, der sich im Zusammenhang mit der Heißmistbereitung die Aufmerksamkeit neuerdings zuwendet.

Wenn der Humifizierung der Substanz im lagernden Dünger von agrarisch-chemischer Seite in Zukunft mehr Beachtung geschenkt würde, müßte dies zur weiteren Klärung der Bedeutung des Heißgärverfahrens und der Wirkung seines Produktes im Ackerboden wesentlich beitragen. Bei den in Frage kommenden Stoffumwandlungen treten gemäß den neueren Forschungsergebnissen flüchtige Ammoniak und andere lösliche, leicht in Verlust geratende Stickstoffverbindungen mit den Kohlehydraten und übrigen stickstofffreien Substanzen des Düngers in Reaktion. Der Stickstoff wird in diesem Falle nicht lediglich absorbiert, sondern chemisch gebunden. Für diese Vorgänge und ihren zeitlichen Verlauf sind aber die Selbstheizung des Düngers und der folgende Sauerstoffabschluß von großer Bedeutung.

Ähnliche Reaktionen zwischen den beiden Stoffgruppen hat schon C. Maillard*) 1912 angestellt und gezeigt, daß auf diesem Wege ohne große Schwierigkeiten stickstoffhaltige, huminstoffliche Substanzen zu erhalten sind. Doch sind diese Versuche ziemlich unbeachtet geblieben. Neuerdings hat K. Liesche*) wieder auf sie hingewiesen und ihre große Be-

deutung für die Heißvergärung des Stalldüngers hervorgehoben. C. Maillard fand, daß die genannten Umsetzungen um so schneller erfolgten, je höher die Temperaturen und je konzentrierter die Lösungen waren. Unter Verwendung von Glykokoß als Aminosäure und Glukose als Kohlehydrat z. B. trat Gelbfärbung bei 84° C nach 48 Stunden auf, bei 40° C nach 80 Stunden und bei 100° C bereits nach 10 Minuten. Andere Aminosäuren reagierten grundsätzlich ebenso. Von den Kohlehydraten waren Pentosen allgemein wirksamer als Hexosen. Andererseits brauchen zur Bildung von Huminstoffen durchaus nicht immer Kohlehydrate mit stickstoffhaltigen Verbindungen in Reaktion zu treten. Muttersubstanzen können ebenfalls reine Eiweißstoffe, reine Kohlehydrate sowie Lignine sein.

Die neueren wichtigen Arbeiten von F. Bergins*), die als Ausgangspunkt für die Entdeckung des Kohleverfälschungsverfahrens betrachtet werden können, haben gezeigt, daß aus Zellulose und Lignin bei höheren Temperaturen und Wasserdampfdruckprodukten entstehen, die durch weitere Umwandlungen schließlich zur sogen. Endkohle führen. Dabei ließen sich unter anderem auch alkalische, den Huminstoffen gleichzusetzende Verbindungen nachweisen.

Wie im einzelnen die Humifizierung der Substanz in heißvergorenem Dünger verläuft, kann heute noch nicht gesagt werden. Ein Vorteil bei diesen Vorgängen ist jedenfalls die Festlegung des Stickstoffes durch seine Anlagerung an die Kohlehydrate und die weitgehende Mürbung der strohigen Bestandteile. Der strukturelle Zerfall derselben würde mit der Umwandlung der Pentosen, die einen hohen Prozentsatz darin ausmachen, und die, wie erwähnt, unter der Einwirkung höherer Wärmegrade besonders leicht mit Aminosäuren in Reaktion treten, wohl zu erklären sein. Die Unschädlichkeit der strohigen Bestandteile des heißvergorenen Düngers im Boden wird durch die Fährungsversuche mit dem einwandfreien Gärprodukt bewiesen. Die leicht vergärbaren stickstofffreien Substanzen wie Pentosane und Pektine müssen also eine Umwandlung erfahren haben. Aus der Beobachtung der Trockensubstanz ist zu schließen, daß sie nicht einfach den Bakterien zum Opfer gefallen sein können. Jeder andere Dünger würde nach einer nur 2- bis 3tägigen Rotte unfähig starke Entodopressionen bewirken.

Aus dem bisher Gesagten geht also mit Sicherheit folgendes hervor. Obwohl es bisher unmöglich erschien, durch irgendeine Art der Stalldüngerverarbeitung gleichzeitig eine gute Rottung bei bester Erhaltung der Trockenubehaltung zu erzielen, ist diese Aufgabe doch gelöst worden. Man konnte bis vor kurzem darauf hinweisen, daß die biologischen Vorgänge, durch welche der Zerfall der pflanzlichen Bestandteile bewirkt und die schädlichen stickstofffreien Substanzen beseitigt werden sollen, mit einer wesentlichen Verringerung der Masse verbunden sein müßten. Bei den eingehenden chemischen und bakteriologischen Untersuchungen über das von H. Krantz ausgearbeitete Heißgärverfahren stellte sich aber heraus, daß die gesamten gegensätzlichen Forderungen doch in einem hohen Grade erfüllbar waren.

Möglich war dieser Fortschritt hauptsächlich durch die erstmalige volle systematische Ausnutzung des Temperaturfaktors bei der Gärung, dessen weittragende Bedeutung sich nicht ohne weiteres voraussagen ließ. Bei der Heißvergärung des Stalldüngers nach H. Krantz und der Reifung des Materials während seiner drei- bis viermonatigen Lagerung macht sich ein auffallend günstiges Zusammenwirken biologischer und chemischer Faktoren bemerkbar. Sie kommen im wesentlichen nacheinander zur Geltung. Dementsprechend verläuft die Umwandlung der Stoffe im heißvergorenen Dünger in zwei unterschiedliche Phasen, nämlich die erste, biologische Phase, in der Bakterien und Pilze ihre wichtigen Aufgaben erfüllen, und die zweite, chemische Phase, in welcher der Einfluß der Organismen völlig aufgehört hat und nur noch rein chemische Reaktionen verlaufen, wenn auch wesentlich langsamer als die biologischen. Die einwandfreie Entwicklung der bedeutungsvollen zweiten Phase hängt dabei lediglich von dem geordneten Verlauf der biologischen Vorgänge in der ersten Phase ab. Nur wenn diese voll und ganz den Anforderungen gerecht wird, welche man an sie stellen muß, kann das gewünschte Gärprodukt entstehen. Unter diesen Umständen erhält man typischen Heißmist mit allen den Eigenschaften, die ihn zu dem vorzüglichen Nährmaterial für die lebende Ackerkrume und die höheren Pflanzen machen.

Um die im vorstehenden geschilderten Verhältnisse, die Ursachen und Wirkungen der Heißvergärung und ihre Bedeutung zu veranschaulichen, sollen im folgenden noch einige Lichtbilder vorgeführt und erklärt werden.

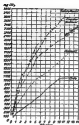


Abb. 1. Abwankskurven.

altem heißvergorenem Dünger nicht wesentlich geringer ausfallen als bei ganz jungem, ebenso behandeltem. Diese Schlufffolgerung findet in den vorstehenden Resultaten volle Bestätigung. Der benutzte frische heißvergorene Dünger war erst eine Woche alt und besaß noch eine Temperatur von 64° C, während der aus demselben Material in derselben Wirtschaft hergestellte alte Heißmist bereits ein halbes Jahr gelagert hatte. Edelmist ist der Ausdruck, der für ihn in der Praxis eingeführt ist.

Wie man sieht, erzeugt dieser nicht viel weniger Kohlensäure als der ganz frische Dünger. Seine Kurve ist noch deutlich im Steigen begriffen. Bei abhaltender Kohlensäureproduktion, an der nicht zu zweifeln ist, würde jener in 8 bis 9 Wochen kaum mehr hinter dem unverrotteten Material zurückgeblieben haben. Leider konnte der Versuch, der mit 14 Wochen schon ungewöhnlich lange Zeit

Die erste Abbildung zeigt die Atmungskraft verschiedener behandelter Düngersorten, wenn sie mit Erde vermischt werden. Die Kurven geben die von Woche zu Woche erzeugten Mengen Kohlensäure wieder. Es besteht hier nicht die Möglichkeit, auf die Versuchsmethodik näher einzugehen, es möge darum der Hinweis genügen, daß, auf Trockensubstanz berechnet, gleiche Mengen der verschiedenen Dünger mit Erde vermischt und in hohen durchlüfteten Standzylindern untergebracht wurden.

Die Fähigkeit, Kohlensäure zu bilden, darf, wenn das über die systematische Heißvergärung Gesagte zu Recht besteht, bei

in Anspruch genommen hatte, wegen des Darwischentretens unvorübergesehener Umstände nicht länger fortgesetzt werden. Auch mußte ein Teil des Versuches zwei Wochen früher abgebrochen werden, da die anschließenden biologischen Untersuchungen über die Erde nicht alle gleichzeitig ausführbar waren. Es folgt aus dem Resultat die, sicher sehr bemerkenswerte Tatsache, daß nach sorgfältiger Heißvergärung und Festtreten des Düngers kaum noch Verluste an Trockensubstanz eintreten. Die bakteriologische Erklärung für diese Erscheinung wurde bereits gegeben. Einwandfrei gewonnener Hummist ist frei von aktiven Keimen und ohne Gärungsvorgänge.

Ein weiteres wichtiges Ergebnis ist das langsamere Ansteigen der Kurve des reifen Düngers im Vergleich zu der des frischen. Er stellt eine träger aber dafür länger fließende Kohlensäurequelle dar und nähert sich in dieser Eigenschaft dem Humus. Für seine Wirkung auf dem Felde, für die zwischen dem Boden, den Mikroorganismen und den Wurzeln bestehenden Wechselwirkungen und für die Befriedigung des Kohlenstoffbedarfes unserer Kulturpflanzen in Form von Kohlensäure ist jene Fähigkeit von großer Bedeutung. So charakteristisch die lebhafte Kohlensäureentwicklung und ihr unvermitteltes Aufhören für den frischen heißvergorenen Dünger ist, so bemerkenswert gestaltet sich die langsame und gleichmäßige Kohlensäureproduktion für den älteren Dünger. Die Gesamtmenge Kohlensäure, die letzterer im Vergleich zum frischen Produkt liefert, erscheint darum nicht wesentlich geringer. Dies sonderbare Verhalten des alten abgelagerten Düngers steht offenbar in engem Zusammenhange mit der während seiner Reifung vorsichgehenden Umwandlung der stickstoffreichen Verbindungen und ihrer Humifikation.

Der Tiefstalldünger gleicher Herkunft und gleicher Zusammensetzung war 3 Wochen alt, also ebenfalls noch ziemlich jung, hatte aber keine Temperaturen über 20° C erreicht. Es ist daher kein Wunder, daß er am meisten Kohlensäure von allen Düngersorten hervorgebracht hatte. Dieser unvergorene, unreife Dünger würde aber im Ackerboden zweifellos die bekannten schädlichen Wirkungen gezeigt haben. In solchem Zustande darf er auf dem Felde nicht zur Verwendung kommen.

Anderes liegen die Verhältnisse für den Hofdünger, obwohl er auch nur ein Alter von 3½ Wochen hat. Er wurde ohne besondere Pflege aufbewahrt, wie es meist der Fall ist, und hatte daher regellose Gärungen durchgemacht, infolge deren er Temperaturen von 38° C erreichte. Dementsprechend wird er trotz seiner geringen Lagerzeit ungefähr über die nötige Reife verfügt, aber auf der anderen Seite sicherlich so starke Verluste an Trockensubstanz und Stickstoff erlitten haben, daß er unbedingt als entwertet zu bezeichnen ist. Die Folgen der nachlässigen Behandlung treten denn auch erwartungsgemäß in der verminderten Fähigkeit, Kohlensäure zu erzeugen, deutlich hervor.

Die Geringfügigkeit seiner Atmungskraft verdient um so mehr Beachtung, als er kaum älter als der Stalldünger ist, der sich im Gegensatz zu jenem durch stärkste Kohlensäurebildung auszeichnet. Die hohen Temperaturen des Hofdüngers haben eine bedeutend intensivere Tätigkeit der Organismen und vor allem einen schnelleren und vollständigeren Abbau der organischen Stoffe bewirkt. Durch den Mangel an Pflege und die dadurch bedingten wilden Gärungen hat er an Düngewert außerordentlich verloren. Man ersieht daraus, mit welchen Gefahren die Selbsterhitzung des Stalldüngers verknüpft und wie wichtig es ist, bei der systematischen Hefvergärung die Umsatzen nach Erreichung der gewünschten Temperatur auf dem vorher geschilderten Wege möglichst schnell zum Stillstand zu bringen. Es ist daher unmöglich, zu einem normalen und wertvollen Gärprodukt zu gelangen, wenn man sich nicht genau an die Vorschriften hält.

Die folgenden drei Abbildungen zeigen in Kurven übersichtlich die Entwicklung der Flora im Stalldünger je nach seiner Behandlung, ferner die Verluste an Trockensubstanz in Abhängigkeit des angewendeten Gärverfahrens und schließlich die in engem Zusammenhange damit stehenden Düngewerte der einzelnen Gärprodukte. Die Abbildungen wurden einer neueren Arbeit von F. Löhle²⁴⁾ entnommen. Die hier angestellten Vergleiche können natürlich nicht in demselben Maße für alle Fälle Gültigkeit besitzten. Sie veranschaulichen aber aufs beste die Wirkung der verschiedenen Behandlungswesen des Stalldüngers.

Die Kurven des ersten Bildes stellen den Gesamtkeimgehalt des Hof-, Tiefstall- und heißvergerenen Düngers dar und lassen deutlich die grundsätzlichen Unterschiede zwischen ihnen erkennen. Der Keimgehalt des Hofdüngers nimmt während der ersten 3 Wochen stark zu und steigt von ungefähr 1 Milliarde lebender Bakterien und Pilze in 1 g Dünger auf 15 Milliarden und darüber hinaus an. Nach dieser Zeit geht der Keimgehalt

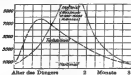


Abb. 2.

Änderungen des Keimgehaltes (Millionen im Gramm) in verschieden behandeltem Stallflägel im Verlaufe von drei Monaten.

ebenso schnell und stark wieder zurück, so daß er nach etwa 3 Monaten nicht höher als zu Anfang ist. Der Tiefstalldünger läßt wegen der höheren Durchschnittstemperaturen im Stalle und der unmittelbaren Einwirkung der tierischen Wärme häufig eine schnellere Vermehrung der Keime erkennen. Die Zahl der letzteren bleibt aber infolge des Luftmangels stets unter der des Hofdüngers und fällt langsamer wieder ab. Der heißvergerene Dünger dagegen zeigt gemäß den früheren Ausführungen keine deutliche Zunahme der Flora. Die Gärungen werden hier von einer geringeren Anzahl besonders wirksamer thermotoleranter und obligat thermophiler Bakterien und Pilze hervorgerufen. Nach einiger Zeit enthält dieser Dünger keine vegetativen, tätigen Keime mehr, während die anderen noch nach 3 Monaten mehrere Millionen davon besitzen. Diese Verhältnisse müssen in der Bewahrung oder Verminderung der Trockenmasse entsprechend zum Ausdruck kommen, wie es auf der folgenden Abbildung zu sehen ist.

Der heißvergorene Dünger weist im großen ganzen nur während der ersten 2 bis 3 Wochen Verluste auf. Von da ab kommen sie fast völlig in Fortfall, da es an der nötigen Bakterientätigkeit fehlt. Die weitgehende Übereinstimmung dieses Befundes mit den vorher besprochenen Resultaten über die Atmungskraft der Stalldüngersorten und ihre Keimzahlen ist klar ersichtlich. Obwohl die Verluste im

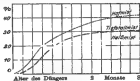


Abb. 3.

Verluste an Trockensubstanz (%) in verschiedenen behandeltem Stalldünger im Verlaufe von drei Monaten.

Hof- und Tiefstallmist wegen der niedrigeren Temperaturen anfänglich geringer sind als im heißvergorenen Dünger, verändern sich nachher die Verhältnisse doch völlig. Schon nach 4 bis 6 Wochen liegen die Kurven jener beiden Dünger deutlich über der des letzteren. Die starke Vermehrung der Bakterien und ihre bis zum Schluß andauernde mehr oder weniger lebhaft Tätigkeit rufen ununterbrochen wachsende Trockensubstanzverluste in ihnen hervor. Nach 3 Monaten sind sie bei diesem Düngersorten ungefähr doppelt so groß wie beim Heißmist. Sie bleiben im Tiefstallmist geringer, weil es in ihm, wie gesagt, an dem nötigen Luftsaauerstoff fehlt.

Das letzte Bild zeigt die Ertragskurven der verschiedenen hier behandelten Dünger, und zwar je nach ihrem Alter. Die Mehrerträge an Kartoffeln in diesem beziehen sich auf Felddüngungsversuche, die nach F. Lehnitz⁴⁰⁾ während dreier Jahre in 4 verschiedenen Wirtschaften durchgeführt worden sind. Hof- und Tiefstallmist haben ihre höchste Wirkung, wenn sie nach einer Kette von etwa 6—8 Wochen

verwendet werden, zu einer Zeit, wo ihre Trockensubstanzverluste noch im Zunehmen begriffen, ihre Reifungsprozesse aber beendet sind. Nach 3 Monaten hat sich ihr Düngewert schon wesentlich vermindert, beim Hofmist erklärlicherweise stärker als beim Tiefstallmist. Der heißvergerene Dünger ist während der ersten 4 Wochen in seiner Wirkung dem Hof- und Tiefstalldünger nicht viel überlegen. Dann aber

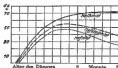


Abb. 4.

Zu- und Abnahme der Mäkeerträge an Kartoffeln (da je ha) bei Verwendung verschieden behandelten Stalldüngers von verschiedenem Alter.

trifft die Eigeneri dieses Gärproduktes deutlich in Erscheinung, in dem seine Düngkraft dauernd zunimmt, während sich die der anderen weiter verringert. Drei Monate älter, alswandfrei gewonnener Heißmist wirkt 2—3mal so gut als Tiefstall- und Holfdünger. Dies Ergebnis steht in bestem Einklang mit den auf den vorigen Bildern zur Anschauung gebrachten Resultaten.

Literatur:

- 4 H. Kraus, Nährversorgung durch Bodenkraftmehrer. Verlag Dr. B. Fflav, Augsburg 1924. J. Weigert, Mitteilung über den derzeitigen Stand und die bisherigen Erfahrungen bei der Gär-düngerbereitung. Ziechr. Pflanzenerzöhr. Düngung, Abt. B, 5, 148 (1923). O. Kron, Eine neue Technik der Mäkeauswertung. Technik in der Landwirtschaft 1923, H. 1. Die verschiedenen ausführlichen Schriften der Gärstatl O. m. h. H. über die Mäkeherstellung; München, Lindwurmstr. 68.

*) F. Löhnitz, Die Heißvergärung des Stallmistes. *M. Landwirtschaft. Ztg.* 47, Nr. 5 [1927]. F. Löhnitz, Ergebnisse neuer Arbeiten über Stallmist, *Zucker. Spiritusindustrie* 54, Nr. 10 [1928]. F. Löhnitz, Untersuchungen über Wirkung und Wert der Wirtschaftsdünger. *Fortschr. d. Landwirtschaft.* 3, 817 [1928].

*) H. Glatho, Die Heißvergärung des Stallmistes nach H. Krantz, *Dissert. Leipzig* 1927; auch in „Die landwirtschaftlichen Versuchs-Stationen“, 105, 68 [1927].

*) W. Goeters, Untersuchungen über Keimgehalt und Wirkung verschieden behandelten Stalldüngers mit besonderer Berücksichtigung des nach dem Verfahren von H. Krantz bereiteten Edelmistes, *Dissert. Leipzig* 1928; auch in „Die landwirtschaftlichen Versuchs-Stationen“ 108, 1 [1929].

*) K. Scheibe, Untersuchungen über Abbau und Wirkung der im Stalldünger enthaltenen Stickstoff- und Kohlenstoffverbindungen, *Dissert. Leipzig* 1927; auch in „Die landwirtschaftlichen Versuchs-Stationen“ 108, 61 [1929].

*) Th. Remy, E. Kistner u. F. Weiske, Heiß- und Kaltmistversuche, *Mitt. Dtsch. Landwirtschafts-Ges.* St. 7 [1930].

*) C. Maillard, *Génèse des matières protéiques et des matières humiques*, Paris 1918, S. 301. Nach K. Liesche, a. nächste Nummer.

*) K. Liesche, Studium über Bildung und Zersetzung von Huminstoffen, *Landwirtsch. Jahrbuch.* 68, 435 [1928].

*) F. Bergius, Beiträge zur Theorie der Kohlenentstehung, *Naturwiss.* 16, 1 [1928].

*) F. Löhnitz, Die Bedeutung der Bakterien im Stallmist und im Kompost, *Fortschr. d. Landwirtschaft.* 4, 45 [1929].

Über Gesetzmäßigkeiten bei der Eiweißverdauung.

Von Dr. WILHELM WÖHLERS.

Aus der landwirtschaftlichen Versuchsanstalt Rostock i. Meckl.

Die Versuche, über die ich hier berichten möchte, stellen eine Fortsetzung der Arbeiten verschiedener Forscher dar. Die ersten waren Henneberg und Stohmann in den Jahren um 1890. Nach ihnen haben sich andere, wie Kellner, Stutzer usw., und späterhin vor allen A. Morgen mit der Eiweißverdauung befaßt. Wenn ich von neuem die Bearbeitung dieser Frage im Angriff genommen habe, so tat ich es im Hinblick auf die neueren Forschungen der Fermentchemie, mich dabei der Hoffnung hingebend, vielleicht einen Schritt weiter in diesem nicht ganz einfachen Gebiete zu kommen.

Man bestimmt heute in der Tierernährung die Verdaubarkeit eines Futtermittels, indem man einmal dasselbe nach bestimmten Analysemethoden in die verschiedenen Nährstoffgruppen aufteilt. Zum anderen untersucht man die Fäces nach denselben Methoden und findet dann aus der Differenz den verdauten Anteil. Man ist sich aber immer klar darüber gewesen, daß vor allem beim Eiweiß auf diese Weise die wirkliche Verdaulichkeit, d. h. die im Körper aufgespalten und resorbierten Nährstoffmengen nicht genau bestimmt werden können. Denn es werden der Nahrung auf ihrem Wege durch den Körper nicht nur Stoffe entzogen, sondern der Organismus gibt auch gewisse Mengen stickstoffhaltiger Substanzen ab. Vor allem Schleimstoffe, die dem Transport des Speisestroms dienen und während der ganzen Länge des Verdauungstraktes abgeschieden werden, außerdem die Drüsensekrete, die nicht alle wieder resorbiert werden, ferner abgeschilfertes Darmepithel, Bakterien usw. Genaues über Art und Menge dieser Stoffe weiß man nicht. Daß es aber sehr nützlich wäre, hierüber genauere Kenntnisse zu besitzen, geht aus folgenden

beiden Überlegungen hervor, wo wir einmal den Fall betrachten wollen, daß die stickstoffhaltige Substanz der Fäces nicht denselben Prozentgehalt an Stickstoff besitzt wie das Eiweiß, zum anderen sich die kalorischen Werte unterscheiden:

1. Die Bedeutung des Prozentgehaltes der stickstoffhaltigen Substanz an Stickstoff. Für das Eiweiß nehmen wir den üblichen Faktor 6,25 zu unseren Berechnungen, der einem Stickstoffgehalt desselben von 16% entspricht. Dessen Wert können wir sowohl für den verdauten Anteil wie auch für den unverdauten in Anrechnung bringen. Geändert soll nur der Faktor für die nicht aus dem Futter stammende Substanz werden, die wir der Einfachheit halber hier stickstoffhaltige Darmstoffe, oder kurz Darmstoffe nennen wollen. (Man hat dieselben vielfach als Stoffwechselprodukte bezeichnet. Dieser Ausdruck scheint mir aber das Wesen der stickstoffhaltigen Substanz in den Fäces nicht zu treffen, vor allem da man unter Stoffwechselprodukten gewöhnlich die „Schlacken“ des Stoffwechsels versteht.)

Wir wollen einmal annehmen, die Darmstoffe enthalten 30% Stickstoff, das würde den Faktor 3 ergeben, oder es wäre weniger als im Eiweiß enthalten, etwa 8%, dann gäbe es den Faktor 12,5. (Die Gallensäuren enthalten etwa 8% Stickstoff und würden ungefähr den Faktor 30 haben.) Dann würde bei einer Ausscheidung von 1 g Stickstoff für Darmstoffe, je nachdem, welcher Faktor zugrunde liegt, die Gesamtmasse derselben entweder 3 g betragen, oder bei dem geringeren Prozentgehalt (also höherem Faktor) 12,5 g. Dies wirkt sich aus bei der Berechnung der stickstofffreien Extraktstoffe, die ja aus der Differenz berechnet werden, nach folgender Übersicht:

$$N\text{-frei Extrakt}^1) = 100 - \text{Eiweiß}^2) + \text{Rohfaser} = \text{Rohfett} + \text{Asche.}$$
 Wird der Wert für Eiweiß, der aus der Stickstoff-

¹⁾ Bezogen auf Trockensubstanz.

²⁾ In der Futtermittelanalyse wird der Gesamtstickstoffgehalt mit dem Eiweißfaktor multipliziert und dieser Wert Rohprotein genannt, da derselbe in die Stoffe nichteiweißartiger Natur mit umfaßt. Bei diesen Betrachtungen soll der Einfachheit halber angenommen werden, daß nur reines Eiweiß vorhanden ist.

analyse berechnet wird, geändert, so ändert sich mithin der Wert für die N-freien Extraktstoffe, wie folgende Beispielsrechnung erweist:

	A.	
Futtmasser + Rohfett + Asche	70,00%	70,00%
1% N für unverdautes Futterwert		
(Faktor 4,35)	4,35%	4,35%
1% N für Darmstoffe (Faktor 5) . . .	5,00%	(Faktor 12,5) 12,5 %
Summe:	81,35%	86,85%
Reiht für N-freie Extraktstoffe . . .	18,75%	bzw. 11,25%

Wir bekommen also bei dieser keineswegs übertriebenen Rechnung doch recht beträchtliche Unterschiede, die gerade bei der Wichtigkeit der stickstofffreien Extraktstoffe eine nicht zu unterschätzende Rolle spielen können. Es wird also durch den Stickstoffgehalt der Darmstoffe die Feststellung der Verdaulichkeit der N-freien Extraktstoffe beeinflußt.

2. Die Bedeutung des Kaloriengehaltes der N-haltigen Substanzen der Fäces. Ganz entsprechende Überlegungen hinsichtlich des Verbrennungswertes ergeben, daß auch hier Verschiebungen nach der einen oder anderen Seite eintreten können, von denen aber in diesem Falle die Bewertung des Eiweißes selbst betroffen wird, wie aus folgender Überlegung hervorgeht:

Legen wir für den Verbrennungswert der Eiweißmenge, die 1 g Stickstoff enthält, ganz schematisch einmal 20 Calorien zugrunde (also für 4,35 g Eiweiß), für die Darmstoffe aber das eine Mal 15 Calorien und das andere Mal 30 Calorien, dann würden wir analog der vorhin ausgeführten Rechnung folgende Zahlen bekommen:

	A.	B.
Im Futter 5 g N	100 cal	100 cal
Verdaut 4 g N	80 cal	80 cal
Unverdaut in den Fäces 1 g N .	20 cal	20 cal
Darmstoffe 1 g N	15 cal	30 cal
Gesamtauscheidung 2 g N . .	35 cal	50 cal

Wir bekommen also eine Verwertung im Tierkörper einmal von 65 Calorien, das andere Mal nur von 50 Calorien für die verdauten Eiweißmenge. Da aber unsere Fütterungslehre auf der von Kellner geschaffenen kalorischen Berechnungsweise aufgebaut, ist natürlich hierdurch eine ziemliche Ungenauigkeit möglich.

Aus diesen Überlegungen erkennt man, daß es von Wichtigkeit ist, die Beschaffenheit und Menge der „Darmstoffe“ zu kennen, und andererseits ist es nicht verwunderlich, wenn man diesen Fragen schon ein vielfaches Interesse entgegengebracht hat.

Über die Art der Untersuchungen.

Nachdem Ihnen kurz die Problemstellung geschildert worden ist, möchte ich nunmehr zeigen, von welchen Gesichtspunkten ich bei meinen Untersuchungen ausgegangen bin, um im Anschluß daran die Versuche im einzelnen zu besprechen.

Bisher hat man die Bestimmung der Darmstoffe so versucht, daß man mit verschiedenen analytischen Maßnahmen die Fäces behandelte und feststellte, wieviel Stickstoff dadurch in Lösung ging. Ich habe später noch etwas näher darauf eingehen, möchte jetzt nur so viel sagen, daß vor allem die Schwierigkeit besteht, daß entweder die Darmstoffe nicht ganz in Lösung gehen, oder aber schon die Nahrungspartikelstücke angegriffen werden. Andererseits ist es natürlich schwer, quantitative Methoden auszuarbeiten zur Bestimmung von Stoffen, über deren Beschaffenheit man nur wenig weiß.

Ich bin deshalb bei meinen Untersuchungen von der entgegengegesetzten Seite ausgegangen, nämlich von der Frage, welche der stickstoffhaltigen Substanzen der Futtermittel in die Fäces übergehen und welche resorbiert werden. Und zwar habe ich systematisch begonnen, die verschiedenen stickstoffhaltigen Substanzen der Reihe nach zu prüfen, ob bei Verfütterung derselben eine Erhöhung des Stickstoffs in den Fäces stattfindet oder nicht. Dabei wurden zu einem beliebigen Grundfutter diese Stoffe zugelegt. Etwa nach dem Schema:

Ein Futter mit A g N gibt m g N in den Fäces.

Ein Futter mit A g N + Futter mit B g N gibt m g N + x g N in den Fäces.

x kann den Wert von 0 bis B haben, je nachdem das zu untersuchende Futter vollkommen verdaulich ist, oder besser vollständig resorbiert wird (also = 0), oder ob es vollständig unverdaulich ist, also quantitativ wieder ausgeschieden wird ($x = B$).

Es sollen zunächst solche Stoffe besprochen werden, die zur stickstoffhaltigen Substanz enthalten, und zwar von diesen zunächst einige wasserlösliche Stoffe.

Von vornherein sollte man eigentlich annehmen, daß wasserlösliche Stoffe ohne weiteres vom Organismus resorbiert werden, also auf die Stickstoff-Ausscheidung in den Fäces ohne Einfluß sein werden. Dem scheint aber die Tatsache zu widersprechen, daß in letzteren recht erhebliche Mengen von wasserlöslichen Stickstoffverbindungen gefunden werden, was aus folgenden Zahlen hervorgeht:

Hammel Nr.	Gesamt-N täglich g	wasserlös. N täglich g	wasserl. N in % des Gesamt-N %
1/I	4,34	1,00	23,0
2/I	4,60	0,99	21,5
3/I	4,34	1,28	29,5
4/I	3,80	0,79	21,0
5/I	3,17	0,73	23,0
1/II	4,88	0,78	17,9
2/II	4,47	1,18	26,4
4/II	4,88	1,04	21,1
5/II	3,70	0,80	21,6
6/II	3,91	1,21	31,0

Wir sehen also, daß in den Fäces sich ein recht beachtlicher Teil der Stickstoffverbindungen in wasserlöslicher Form befindet; in zwei Fällen fand ich sogar über 30% der Gesamt-N-Ausscheidung. (Auf diese Berechnung haben Henneberg und Stohmann*) schon einmal hingewiesen, aber ebenso wie spätere Forscher nicht weiter berücksichtigt.) Sind nun diese wasserlöslichen stickstoffhaltigen Stoffe unverdaute Futterreste oder muß man sie den Darmstoffen zurechnen?

Zur Beantwortung dieser Fragen wollen wir den vorhin schon angeführten Einfluß einer Zolage von wasserlöslichen Stickstoffverbindungen zum Futter prüfen. Es gibt eine große Anzahl von Versuchen, bei denen man diese Frage nachprüfen kann und von denen ich Ihnen einige hier vorführen möchte.

*) Henneberg u. Stohmann, Beiträge zu einer rationalen Fütterung usw.

**Der Einfluß von Harnstoff, Ammonacetat,
Asparagin, Glykokoll auf die Stickstoff-
Ausscheidung in den Fäces.**

Zunächst möchte ich einen Versuch mit Harnstoff anführen, den Hensamp^{*)} und Mitarbeiter in den Jahren 1922 und 1923 durchgeführt haben. Derselbe bildet wegen der zahlreichen Perioden ein recht geeignetes Material für unsere Betrachtungen. Als Grundfutter wurde in zwei Versuchsreihen Kleien und Haferstroh gegeben, während in der dritten Reihe dasselbe aus Wicken und Erbsenstroh bestand. Ich habe die Zahlen der einzelnen Perioden für unseren Zweck geordnet und umgerechnet, soweit nötig, so daß man zu folgender Übersicht kommt:

	Gesamt-N im Futter	Gesamt-N in den Fäces	berechnet ■
Grundfutter	6,88	3,00	
Grundfutter + 10,5 g Harnstoff	11,75	5,90	
Grundfutter + 10,5 g Harnstoff	11,75	8,88	
Grundfutter	6,88	3,00	
Grundfutter + 10,5 g Harnstoff	11,75	4,68	
Grundfutter + 10,5 g Harnstoff	11,75	5,90	
Grundfutter	6,88	4,11	
Grundfutter	7,79	(4,78)	4,73
Grundfutter + 10,5 g Harnstoff	12,66	(4,48)	4,88
Grundfutter + 10,5 g Harnstoff	12,66	(4,73)	4,44
Grundfutter	7,79	(4,84)	4,67

Bei der letzten Reihe habe ich eine kleine Umrechnung vornehmen müssen, da die Trockensubstanz-Ausscheidung größeren Schwankungen unterworfen war, wohl infolge des Einflusses der Wicken im Grundfutter. Die berechneten Zahlen beziehen sich auf gleiche Trockensubstanzmengen bei der letzten Versuchreihe.

Man kann aus diesen Versuchen erkennen, daß der im Futter verabreichte Harnstoff den Stickstoffgehalt der Fäces nicht erhöht hat. Vor allem erkennt man es daran, daß die Schwankungen in den Grundfutter-Perioden größer sind, als die Abweichung der Harnstoff-Perioden von diesen. Außerdem ist ja im Futter durch die Harnstoffbeigabe die Stickstoffmenge um 60% höher geworden, so daß man wohl sagen

^{*)} F. Hensamp u. K. Scheller, Biochem. Zentr. 138, 463 [1923].

kann, daß vom Harnstoff des Futters nichts in die Fäces übergegangen ist. Houscamp berechnet auch noch in dieser Arbeit, daß die Stickstoff-Steigerung im Harn gerade so viel ausmacht, wie dem im Harnstoff angeführten Stickstoff entspricht. Derselbe muß also quantitativ resorbiert worden sein.

Zu ganz demselben Ergebnis kommt man bei der Verfütterung von Ammonacetat, wie aus einem Versuch A. Morgans¹⁾ hervorgeht. Derselbe legte ganz entsprechend den oben angeführten Versuchen zu einem Grundfutter Ammonacetat zu. Auch bei dieser Zugabe erhöhte sich die Stickstoff-Ausscheidung in den Fäces nicht, wie aus folgender Übersicht hervorgeht:

	Im Kot	
	Trock.-Stoff.	Gesamt-N
	g	g
Grundfutter	389	7,08
Grundfutter + Ammonacetat	383	7,06

Diese Versuche, die den Durchschnit von fünf bzw. sechs Versuchen darstellen, zeigen eine außerordentlich gute Übereinstimmung. Ferner möchte ich noch einen anderen Versuch desselben Autors anführen²⁾, bei dem zu einem eiweißfreien Grundfutter Asparagin bzw. Ammonacetat gereicht wurde. Die Zahlen lassen sich nicht direkt vergleichen, weil verschiedene große Mengen eines an sich allerdings gleichen Grundfutters von den Tieren aufgenommen wurden. Deshalb möchte ich eine kleine Umrechnung vornehmen, gegen die sich vielleicht gewisse Einwände machen lassen, aber für diesen Zweck angingig ist. Die Hammel haben bei der Asparaginfütterung weniger vom Grundfutter gefressen, als bei alleiniger Verabreichung von letzterem. Dementsprechend ist auch weniger Trockensubstanz ausgeschieden worden. Berücksichtigt man diesen Umstand und berechnet die Gesamt-Stickstoffausscheidung auf gleiche Grundfuttermengen bzw. auf gleiche Trockensubstanzmengen in den Fäces, so kommt man zu folgenden Werten:

	Gesamt-N in den Fäces
	g
Grundfutter	3,33
Grundfutter + Asparagin bzw. Ammonacetat	3,29

¹⁾ A. Morgan, Landw. Versuchs-Station 55, 56 (1912).

²⁾ Morgan, a. a. O.

Also auch hier eine sehr gute Übereinstimmung, so daß man eine quantitative Resorption des Asparagins wie des Ammonacetats annehmen kann. Besonders schön sieht man dies noch an einem Versuch mit Schweinen, denen ein vollkommen stickstoffreies Grundfutter gefüttert wurde. Bei diesem Grundfutter betrug die Gesamt-Stickstoffausscheidung 1,45 g. dagegen 1,54 g. wenn Asparagin bzw. Ammonacetat als Beifutter gegeben wurde.

Als letztes der wasserlöslichen Stoffe möchte ich noch Glykokoll anführen. Die Zahlen sind einer später zu besprechenden Tabelle entnommen (nach E. Ungerer):

	In den Fäces Gesamt-N (ber.)
	g
Grundfutter allein . . .	11,06
Glykokoll-Fütterung . .	10,28

Auch hier sieht man, daß durch die Glykokoll-Fütterung die Stickstoff-Ausscheidung jedenfalls nicht erhöht worden ist, sondern im Gegenteil eher etwas geringer. (Dies ist durch die Art der Versuchsanstellung bedingt.) Wir können also sicher annehmen, daß auch Glykokoll vom Tier vollständig resorbiert wird.

Ziehen wir den Schluß aus diesem Abschluß, so können wir sagen, daß die wasserlöslichen Stoffe, wie Harnstoff, Asparagin, Ammonacetat und Glykokoll, vom Tier quantitativ resorbiert werden und nicht in die Fäces gelangen. Dasselbe können also für das Vorhandensein wasserlöslicher Stickstoff-Verbindungen in den Fäces nicht verantwortlich gemacht werden.

Der Einfluß von verfüttertem Albumin, Blutmehl, Kieherund-Trockenmilch auf die Stickstoff-Ausscheidung in den Fäces.

Nunmehr möchte ich eine andere Gruppe von stickstoffhaltigen Stoffen besprechen, und zwar reine Eiweißstoffe, also solche, die außer Eiweiß nennenswerte Mengen anderer Nährstoffe nicht besitzen. Über die Beschaffenheit derselben gibt nachstehende Tabelle eine Übersicht:

	Gesamt-N in %	Nach Blatter Mollich %	Lösliches N in % des Gesamt-N
Albumin . . .	11,89	11,89	100
Eiweiß . . .	12,00	12,43	96,9
Kleber . . .	10,11	9,74	98,3
Trockenmilch .	5,94	5,67	95,0

Außer dem Gesamt-Stickstoffgehalt sind noch die Zahlen über die Löslichkeit nach der Pepsin-HCl-Methode Stützgers angegeben. Man sieht ohne weiteres, daß sich nach dieser Methode der größte Teil in Lösung bringen läßt und nur ein verschwindend kleiner Bruchteil als unlöslich zu betrachten ist. Die Trockenmilch besitzt allerdings außer dem Eiweiß noch einen beträchtlichen Gehalt an „N-freien Extraktstoffen“, die in diesem Falle lediglich Zucker sind, der bei der Herstellung der Trockenmilch derselben zugesetzt wird. Letzterer ist zwar vollkommen verdaulich, übt aber auf die Ausscheidung der Trockensubstanz indirekt einen Einfluß aus (Verdaunungsdepression), den wir rechnerisch ausschalten werden.

Auch bei diesen jetzt aufzuführenden Versuchen Morgens (s. a. O.) ist die Anordnung derselben genau so wie bei den im vorigen Kapitel besprochenen. Es wird wieder ein Grundfutter gegeben, dessen Zusammensetzung uns nicht weiter interessiert, und zu diesem werden die Eiweißfüttermittel zugelegt. Für unsere Betrachtungen kommt nur die Änderung der Gesamt-Stickstoff-Ausscheidung in Betracht.

Als ersten Versuch möchte ich einen recht übersichtlichen anführen, bei dem an Mammel ein völlig stickstoff-freies Grundfutter verabreicht worden ist. In den nächsten Perioden wurde dann eine Menge von 55 g Albumin verfüttert, die in den darauffolgenden Perioden um das Doppelte, Dreifache bzw. Vierfache gesteigert wurde.

	In den Fäces Trocken-Subst.	Gesamt-N
	g	g
Grundfutter	127,4	3,18
Grundfutter + 55 g Albumin . . .	134,7	3,29
Grundfutter + 110 g Albumin . . .	149,7	3,58
Grundfutter + 165 g Albumin . . .	155,9	3,63
Grundfutter + 220 g Albumin . . .	158,2	3,57

Das Grundfutter betrug 475,6 g Trockensubstanz. Demgemäß ist die Eiweißfütterung außerordentlich weit getrieben worden, so daß alle Übergänge von eiweißfreier bis zu sehr eiweißreicher Fütterung vorhanden sind. Dennoch ist die Gesamtmenge des ausgeschiedenen Stickstoffs nicht sehr vermindert worden. Daraus leuchtet besonders dann ein, wenn man berücksichtigt, daß die Zahlen teilweise nur den Durchschnitt von zwei Tieren darstellen, teilweise ist es allerdings das Mittel von mehreren Versuchen an verschiedenen Tieren. Nicht unerwähnt möchte ich allerdings lassen, daß trotz gleichen Grundfutters die Ausscheidung an Trockensubstanz recht beträchtlichen Schwankungen unterworfen ist, die auch hier die Folge der durch die Eiweißbefütterung aufgehobenen Verdauungsdepression bei den stickstofffreien Nährstoffen ist. Eine überzeugende Erklärung für dieses Verhalten, nämlich daß trotzdem die Stickstoff-Ausscheidung sich nicht ändert, kann ich heute noch nicht sicher geben.

Die gleichen Versuche wurden mit Schweinen durchgeführt, indem an diese ebenfalls ein N-freies Grundfutter verabreicht wurde, zu dem in der zweiten Periode 110 g Albumin gegeben wurden:

	In den Harn	
	Trock.-Subst.	Gesamt-N
	g	g
Grundfutter (N-frei)	33,1	1,46
Grundfutter + 110 g Albumin . . .	33,3	1,46

Auch diese Versuche, die ebenfalls an mehreren Tieren durchgeführt worden sind, zeigen in recht guter Übereinstimmung, daß eine Stickstoffvermehrung im Kot durch Verfütterung von Albumin nicht bewirkt wird.

Ähnliche Verhältnisse treffen wir, wenn wir Blutmehl verfüttern. Auch dieses besitzt eine recht hohe Löslichkeit nach der Methode Stutzer, wenn auch nicht ganz so hoch, wie es beim Albumin der Fall ist. Es nimmt darum nicht wunder, wenn wir bei der Verdauung ganz ähnliche Verhältnisse finden wie beim Albumin. Dazu eine kurze Zusammenstellung:

	In den Harn		berechnet
	Trock.-Subst.	Gesamt-N gelöst	
	g	g	g
Grundfutter	33,3	1,50	0,50
Grundfutter + Blutmehl	34,3	1,57	0,50

Auch hier ist wieder die übliche Umrechnung angewandt worden. Die Übereinstimmung ist sehr weitgehend, so daß man auch hier sagen kann, daß das Kleinhorn so gut wie quantitativ vom Organismus ausgenutzt wird und nichts in die Fäces übergeht.

Etwas andere gestalten sich die Verhältnisse beim Kieher. Derselbe besitzt einen etwas größeren Anteil, der sich nicht in Pepsin-HCl nach Stutzer löst. Wenn der Betrag auch nicht sehr groß ist, ungefähr 4% des Gesamt-Stickstoffs, so macht sich doch schon ein gewisser Einfluß auf die Stickstoff-Ausscheidung in den Fäces bemerkbar. Wir treffen also hier zum ersten Male stickstoffhaltige Stoffe, die nicht mehr vom Körper restlos resorbiert werden.

Wir wollen uns zunächst einige Versuche daraufhin ansehen. Die Anordnung ist wieder dieselbe wie bei den früheren:

	Im Futter Gesamt-N	In den Fäces Trocken- subst. Gesamt-N	gefäces berechn.
Grundfutter	9,8	741,5	4,59
Grundfutter + 100 g Kieher	23,3	254,4	4,59
Grundfutter + 200 g Kieher	34,8	254,4	5,75
Grundfutter + 300 g Kieher	49,8	271,7	6,09

Dieser Versuch, der von Hönkamp⁷⁾ ausgeführt ist, bietet manches Beachtenswerte. Zunächst muß man sich vergegenwärtigen, welche außerordentliche Steigerung der Stickstoff im Futter erfahren hat, nämlich von 9,8 g im Grundfutter auf 49,8 g in der letzten Periode. Demgegenüber steigt die Ausscheidung desselben nur um 2,8 g oder nach dem umgerechneten Wert sogar nur um 3 g. Das heißt also, daß der Hauptanteil des gefütterten Stickstoffs im Tier resorbiert worden ist. Nur ein geringer Bruchteil hat dazu beigetragen, daß der Betrag sich in den Fäces erhöht. Dieser Mehrbetrag entspricht ziemlich genau den Mengen, die sich bei Behandlung des Klebers nicht in Pepsin-HCl nach Stutzer löst. In dieser Hinsicht finden wir also wieder eine Bestätigung der Ansicht, daß die stickstoffhaltige Substanz, die nach dieser Methode gelöst wird, tatsächlich auch vom Tier resorbiert wird, daß dagegen der Anteil, welcher nicht gelöst wird, die

⁷⁾ F. Hönkamp u. Mitarbeiter, Landwirtschl. Vers.-Stat. 193, 179 [1926].

Ausscheidung in den Fäces erhöht. Innerhalb ist hier die Übereinstimmung doch nicht mehr so überzeugend wie bei den anderen Versuchen. Ich werde darauf zurückkommen, zuvor aber erst diese Frage zu Ende führen.

Einen anderen Versuch mit Kleberfütterung hat Keilner*) an Ochsen durchgeführt, den ich besonders seiner lehrreichen Anordnung wegen (besonders für unsere Betrachtungen) noch besprechen möchte.

Es müßte nämlich, wenn die oben angeführten Verhältnisse allgemeinerer Natur wären, bei verschiedenem Grundfutter, aber bei Verfütterung steigender Mengen des gleichen Eiweißfutters die Steigerung des Gesamt-N in den Fäces entsprechend verlaufen. Und dies ist tatsächlich der Fall.

Keilner verfütterte an zwei Ochsen ein Grundfutter in verschiedenen Mengen, so daß eine verschieden hohe Stickstoff-Ausscheidung sich bei den beiden Tieren ergab. Nun legte er einmal eine kleinere, das andere Mal eine größere Gabe von Klebermehl zu dem Grundfutter zu:

		Ochse	
		B	C
Bei 0,5 kg Kleber im Futter werden ausgeschieden:	g N	90,5	94,7
Bei 2,5 kg Kleber im Futter werden ausgeschieden:	g N	98,3	113,0
		11,7	18,3

Bei beiden Tieren finden wir eine gleichmäßige Steigerung der Stickstoff-Ausgaben, die in Anbetracht der großen Mengen im Futter (5 kg Kleber) zwar nicht sehr ins Gewicht fällt, aber bei beiden Tieren sicher zu erkennen ist und in dieselbe Größenordnung fällt.

Mit Trockenmilch habe ich Versuche durchgeführt, die zu ganz ähnlichen Ergebnissen geführt haben. Dieselbe enthält nur geringere Mengen von stickstoffhaltiger Substanz, die sich in Pepsin-HCl nicht kochen, etwa 0,34%. Die Stickstoff-Ausscheidung betrug bei:

		beide.
Grundfutter	194 g Tr.-Stoff m.	3,54 g N
Grundfutter + 300 g Trockenmilch	230 g Tr.-Stoff m.	4,79 g N

Es tritt eine nennenswerte Steigerung von Stickstoff in den Fäces ein, die selbst in Anbetracht der verfütterten Mengen Stickstoff in der Trockenmilch (11,96 g N), nicht zu

*) O. Keilner, Landwirtschl. Vers.-Stat. 33, 66 [1906].

vernachlässigen ist. Auch die Umrechnung auf gleiche Trockensubstanz kann den Unterschied nicht ausgleichen.

Wir finden hier genau wie beim Kleber mit Vorhandensein von unlöslichen Stickstoff-Verbindungen nach Stützer im Futter eine Zunahme der Stickstoff-Ausscheidung.

Alle in diesem Kapitel angeführten Versuche deuten darauf hin, daß die Stoffe, die durch die Methode von Stützer in Lösung gebracht werden, von dem Tier annähernd verdaut und resorbiert werden.

Der Ersatz von Eiweiß im Futter durch wasserlösliche Stickstoffverbindungen.

Wenn die in den beiden vorhergehenden Kapiteln dargelegten Beziehungen den Tatsachen entsprechen sollen, dann müßte man durch geeignete Futterzusammensetzungen die beiden obengenannten Gruppen gegeneinander austauschen können, ohne daß sich an der Stickstoff-Ausscheidung etwas ändern dürfte.

Für diese Frage möchte ich nur zwei Versuche auführen, aus denen hervorgeht, daß diese Forderung wirklich erfüllt wird.

Als erster sei ein Versuch von Morgen angeführt. Im Grundfutter wurde als Eiweißfutter Blutmehl gegeben. Eiweiß sich zum größten Teile in Pepsin-HCl. Mats. In der entsprechenden Periode wurde der lösliche Stickstoff durch eine gleiche Menge in Form von Ammonacetat ersetzt:

	N im Futter	In den Fäces Trockensubst.	Gesamt-N
	$\frac{g}{1000}$	$\frac{g}{1000}$	$\frac{g}{1000}$
Grundfutter mit Blutmehl	18,0	366	7,02
Blutmehl ersetzt	18,35	368	6,95

Im Futter sind bei Blutmehlersatz 0,45 g Stickstoff weniger gefüttert worden, d. h. der Anteil, der nach der Methode Stützer nicht löslich ist. Diesen Betrag müssen wir natürlich ausschalten, wenn wir die Zahlen vergleichen wollen. Dann gelangt man zu folgenden Zahlen:

Bei Blutmehl in den Fäces . . .	7,02 g N
Blutmehl ersetzt in den Fäces . .	7,08 g N

Dieser Versuch, der eine sehr gute Übereinstimmung zwischen dem theoretisch geforderten und den tatsächlich be-

abgelesenen Werten ergeben hat, bildet eine gute Stütze für die oben abgeleiteten Berechnungen, nämlich daß weder wasserlösliche Verbindungen noch auch starrer löslicher Eiweiß auf die Stickstoffausscheidungen von Einfluß ist.

Als letzter Versuch zu dieser Frage sei noch ein Versuch von Ungerer^{*)} angeführt, bei dem diese Berechnung auch recht deutlich hervortritt. Ungerer verfütterte an Mäskälgen ein Grundfutter bestimmter Zusammensetzung in den Perioden 1, 3, 5 und 7. In den dazwischenliegenden Perioden ersetzte er den Pepsin-HCl-löslichen Stickstoff zu einem gewissen Teil durch Harnstoff oder Glykokoll. Eine für unsere Betrachtungen geeignete Zusammenstellung gibt die nächste Tabelle. Die Zahlen sind der Durchschnitt der Ergebnisse von vier Tieren. Die letzte Spalte zeigt die auf gleiche Grundlage berechneten Werte. (Ausschaltung des weniger verzehrten unlöslichen Stickstoffs, Berechnung auf gleiche Trockensubstanzenmenge.)

	Im Futter		in den Fäces		
	Gesamt-	unlösli.	Trock.-	Gesamt-	berechnet
	N	N	Subst.	N	g N
					täglich
1. Grundfutter	44,48	1,07	488	11,84	10,81
2. Ersatz durch Harnstoff	43,12	0,95	453	11,02	11,06
3. Grundfutter	44,48	1,07	443	11,86	11,27
4. Ersatz durch Harnstoff	41,77	0,81	315	9,17	10,26
5. Grundfutter	44,48	1,07	513	11,06	11,06
6. Ersatz durch Glykokoll	41,35	0,76	397	8,74	10,35
7. Grundfutter	44,48	1,07	570	10,35	11,30

Wir finden auch hier nach Ausschaltung des weniger verzehrten Pepsin-HCl-unlöslichen Stickstoffs und Korrektur in bezug auf die weniger ausgeschiedene Kottrockensubstanz, daß die Gesamt-Stickstoff-Ausscheidung nur innerhalb geringer Grenzen schwankt. Jedenfalls sind die Abweichungen der Harnstoffperioden nicht größer, als die Schwankungen der Grundfutterperioden untereinander betragen. Es bestätigt sich auch hier die Annahme, daß durch wasserlösliche, stickstoffhaltige Stoffe die N-Ausscheidung in den Fäces ebenso wenig erhöht wird wie bei Verfütterung von Pepsin-HCl-löslichem Eiweiß. Bei der Glykokoll-Fütterung liegt der errechnete Wert zwar deutlich unter dem Mittel, wenn auch nicht gerade so sehr, daß sich daraus ein gewonderliches Verhalten des Glykokolls ableiten ließe.

^{*)} E. Ungerer, Biochem. Zsch. 147, 379 (1924).

Über die durch die Methode nach Stutzer in Lösung gehenden Stickstoffverbindungen.

In den vorigen Kapiteln habe ich wiederholt die Methode Stutzers angeführt, nach welcher man aus den Futtermitteln eine bestimmte Menge stickstoffhaltiger Verbindungen abtrennen kann. Die Methode wird kurz folgendermaßen gehandhabt: 2 g Substanz wurden bei Körpertemperatur (37°) mit einprozentiger Salzsäure und Pepsin behandelt. Darauf wird durch gewöhnliches Filtrierpapier filtriert und im Rückstand eine Stickstoffbestimmung vorgenommen, aus der Differenz mit dem Gesamtstickstoff der lösliche Anteil berechnet.

Diese Methode habe ich nun einer genaueren Bearbeitung unterzogen und bestmöglichen versucht, was eigentlich durch dieselbe in Lösung gebracht wird. Es war besonders beim Kleber mir schon aufgefallen (dem einzigen pflanzlichen Eiweiß, das ich vorher besprochen habe), daß hier die Übereinstimmung der gefundenen Werte mit den erwarteten nicht mehr so gut ist. Das kann vor allem daran liegen, daß wir bei dieser Methode zwei verschiedene Wirkungen haben. Einmal die der Pepsine und zum anderen die der Salzsäure. Man ist bisher immer der Meinung gewesen, daß die Bedeutung dieser Methode lediglich in der Pepsinwirkung liegt. Das ist aber durchaus nicht der Fall, sondern die Salzsäure spielt dabei eine recht beachtliche Rolle. Und zwar in zweierlei Hinsicht. Einmal wird durch einprozentige Salzsäure eine Wasserstoffionenkonzentration erreicht, die wesentlich unter dem Optimum der Pepsinwirkung liegt. Nach verschiedenen Untersuchungen liegt das letztere etwa bei $\text{pH } 2$, d. h. also etwa $\frac{1}{100}$ Salzsäure entsprechend. Bei der Methode Stutzers wird aber etwa $\frac{1}{5}$ Salzsäure angewandt. Diese starke Säurekonzentration bewirkt, daß die Fernwirkung zurückgedrängt wird. Ich konnte dieses an einer ganzen Reihe von Futtermitteln verfolgen. Zu diesem Zweck füllte ich im Filtrat das noch unzersetzte Eiweiß. Je nach der Art des Futtermittels bekam ich dann eine mehr oder weniger große Menge von Niederschlag, während der Anteil an wirklichen Albumosen und Peptonen mitunter recht gering war. Besonders bei verschiedenen Fleischmehlarten war der unzersetzte Anteil recht groß, während er beim Knochen relativ gering war.

Wenn der Niederschlag des gefüllten Eiweiß nun abermals mit Pepsin im Thermostat behandelt wurde, dieses Mal aber bei einem Säuregrad vom pH 1,8, dann wurde in vielen Fällen eine vollständige Auflösung in Albumosen und Peptone erzielt. Es fanden sich aber einige darunter, z. B. ein Flachsmehl und ein Weizenmehl, wo auch jetzt immer noch beträchtliche Mengen unzerstört blieben. Wir haben also bei der Methode Stützers vor allem eine Salzsäurewirkung, d. h. es wird hauptsächlich Eiweiß in lösliche Form übergeführt, während die Auflösung in Albumosen und Peptone nur entsprechend der abgeschwächten Wirkung des Pepsins infolge der ungünstigen Wasserstoffionenkonzentration eintritt.

Wir haben also bei der Methode nach Stützer mit einer erheblichen Salzsäurewirkung zu rechnen.

Aus diesem Grunde habe ich auch in den vorhergehenden Kapiteln immer von der Pepsin-HCl-Methode nach Stützer gesprochen.

Nun ist ferner zu berücksichtigen, daß im Tierkörper derartig hohe Salzsäurekonzentrationen, also 1%, nicht vorkommen. Es wurden beim Hunde im reinen Magensaft, der mit *Pancreas* gewaschen wurde, etwa 0,5 bis 0,8% festgestellt. Wenn derselbe sich aber mit dem Speisestoff vermischt, findet natürlich eine beträchtliche Verdünnung statt. Direkte Messungen im gefüllten Magen ergaben 1,5 bis 4 pg . Es scheint mir darum immerhin etwas zweifelhaft, ob mit der Methode Stützer in allen Fällen tatsächlich nur solche Stoffe in Lösung gehen, die im Tierkörper ebenfalls dem Abbau und der Resorption unterliegen. Weitere Arbeiten zur Klärung dieser Frage habe ich in Angriff genommen.

Über die durch Trypsin löslichen Stickstoffverbindungen.

Zunächst möchte ich meinen Besprechungen voraussetzen, daß fast alle Bestimmungen des sog. trypsinlöslichen Stickstoffs, die bisher in der landwirtschaftlichen Tierernährungslehre vorgenommen sind, reine Alkalwirkungen sind. Wir wissen heute, daß Trypsin als spezifisches Substrat Pepsin verwendet, die es in Polypeptide zerlegt. Beide Stoffe sind wasserlöslich, und dadurch, daß das Futtermittel zuerst nach Stützer vorbehandelt wird, ehe die Trypsinbehandlung kommt, ist das eigentliche Substrat schon aus dem Futtermittel

verfestet. Man hat andererseits noch die Möglichkeit ins Auge gefaßt, daß das Trypsin Nukleoproteine ist, die durch Pepsin nicht angegriffen werden. Ob das allerdings zutrifft, ist nicht ganz sicher. Jedenfalls konnte ich bei meinen Untersuchungen keine nennenswerten Unterschiede zwischen den Werten mit und ohne Trypsin feststellen.

Dagegen konnte ich eine recht interessante Feststellung machen über eine Wirkung der alkalischen Reaktion auf das Futtermittel. Bei meinen Versuchen über den Einfluß der verschiedenen Methoden auf die Lösung der stickstoffhaltigen Substanz bekam ich beim Kleben wie bei Roggenkleie bei Behandlung mit Alkalien (8,1prozentige SodaaLösung) ein dunkleres Filtrat, das besonders beim Erhitzen tiefbraun gefärbt war. Beim Ansäuern bildete sich ein dunkelgefärbter flockiger Niederschlag, der sich nur langsam absetzt, während die überstehende Lösung nur noch schwach gefärbt war. Dieser Niederschlag enthält beachtliche Mengen Stickstoff, wie folgende Zahlen zeigen:

	Gesamt-N	von alkalischen N mit HCl fällbar
Kleien I . .	1,78%	0,29%
Kleien II . .	2,48%	0,33%

Diesen Niederschlag bekommt man ebenfalls, wenn man die Fäces auf dieselbe Weise behandelt. Es ist dabei sogar unnötig, erst mit Salzsäure denselben zu behandeln, sondern man kann ihn sofort mit Alkali einer Temperatur von 87° aussetzen. Die Werte unterscheiden sich nicht wesentlich. Die genauere Identifizierung arbeite ich augenblicklich aus. Jedoch besteht kein Zweifel, daß wir hier einen Stoff gefunden haben, der sich im Futtermittel nach der sogenannten Trypsinmethode in Lösung bringen läßt, in Wirklichkeit vom Tier gar nicht resorbiert wird. Andererseits aber, wenn man die Fäces ebenfalls mit der Trypsinmethode behandelt, wie Morgen vorschlägt, um die sog. Darmstoffe in Lösung zu bringen, bekommt man die genannten Stoffe hier in Lösung, während sie in Wirklichkeit dem unverdauten Anteil zuzurechnen sind.

Wir müssen uns also den Vorgang im Tierkörper folgendermaßen vorstellen: Wenn der Speisebrei den Magen verlassen hat, wird er im Darm durch die alkalischen Drüsen-sekrete selbst alkalisch. Dadurch werden die obengenannten Stoffe in lösliche Form übergeführt und gelangen in die Fäces,

ohne resorbiert zu werden. Es müßte daher möglich sein, dieselben schon durch einfaches Behandeln der Faeces mit Wasser in Lösung zu bringen, wenigstens soweit die Alkaliwirkung im Darm sich ausgewirkt hat. Und tatsächlich gelingt es auch, in wässerigen Auszügen in gewisser Menge diese Stoffe zu fällen.

Andererseits müßte man einen geringeren Anteil an diesen Stoffen in den wässerigen Auszügen der Faeces finden, wenn es gelingen würde, die Alkalität im Darm herabzusetzen. Auch dieses habe ich nachweisen können, nämlich in Versuchen, bei denen an Hammel Sauerfutter gefüttert wurde. Mit dem Sauerfutter wurden den Tieren beträchtliche Mengen organischer Säuren zugeführt, die sicherlich die Alkaliwirkung der Darmsekrete abgeschwächt haben. Der Erfolg war, daß in den wässerigen Auszügen ein wesentlich geringerer Anteil mit Salzsäure sich ausfällen ließ.

Ich bin augenblicklich noch damit beschäftigt, diese Frage weiter mit analytischen Daten zu belegen, und hoffe, in der nächsten Zeit ein abschließendes Urteil über diese Frage fällen zu können. Jedenfalls steht schon jetzt so viel fest, daß ein gewisser Teil der wasserlöslichen Stoffe in den Faeces aus dem Futtermittel stammt, wo sie ursprünglich nicht in löslicher Form vorliegen, sondern erst durch die alkalisch reagierenden Darmsekrete in lösliche Form übergeführt werden.

Wenn wir nun die eigentliche Trypsinwirkung betrachten, nämlich die Aufteilung von Peptonen in Polypeptide, so erübrigt es sich nach dem bisher Gesagten, darauf weiter einzugehen. Es ist ohne weiteres klar, daß die kleineren Bausteine ebenfalls resorbiert werden, wenn schon die größeren, nämlich die Peptone, der Resorption anheimfallen.

Zusammenfassung.

Um einen Überblick über die „Darmstoffe“ in den Fäces zu bekommen, habe ich mit Untersuchungen begonnen, den Futteranteil zu bestimmen, der die Stickstoff-Ausscheidung erhöht. Dabei haben sich folgende Gesetzmäßigkeiten ergeben:

1. Die wasserlöslichen Stickstoffverbindungen (wie Asparagin usw.) werden quantitativ resorbiert.
2. Papainlösliche Verbindungen werden ebenfalls resorbiert. Desgleichen

3. die trypaninlöslichen Stoffe.

4. Eine Erhöhung der Stickstoff-Ausscheidung in den Fäces findet dann statt, wenn in dem Futter solche Stickstoffverbindungen enthalten sind, die sich der Einwirkung der Fermente entziehen.

5. Nach der Methode Stützers wird vor allem eine Lösung von Eiweiß durch Salzsäure bewirkt. Die Fermentwirkung ist nicht allein das ausschlaggebende Moment.

6. Durch alkalische Reaktion werden bei manchen Futtermitteln stickstoffhaltige Stoffe in Lösung gebracht, die aber nicht der Resorption unterliegen.

Erfahrungen und praktische Betrachtungen auf Grund von Phosphorsäureuntersuchungen landwirtschaftlicher Böden.

Von Dr.-Ing. E. G. DOMMEL, Prag.

Es ist kein Zufall, daß man heute in landwirtschaftlichen Kreisen ebensoviel von Rationalisierungen wie von Bodenuntersuchungen sprechen hört. Gerade die Bodenuntersuchungen sollen ein Mittel sein die Düngung zu rationalisieren.

Daß auch die chemischen Industrien der Bodendüngung viel Interesse und Förderung entgegenbringen, ist ein überaus großes, von der Allgemeinheit, noch gar nicht richtig erkanntes Verdienst um die Hebung der Bodenkultur. Auch wenn dies primär aus industriellem Interesse geschieht, um eine verlässliche Grundlage für die Aufklärungsarbeit oder, wie es weniger richtig heißt, für die Propagandastätigkeit zu gewinnen. — Der Erfolg kommt letzten Endes der Allgemeinheit zugute.

Es ist aber heute sehr schwer ein Übersichtliches Bild über alle diese Bodenuntersuchungsarbeiten zu erhalten, da viele Stellen die Resultate nicht veröffentlichten wollen oder können.

Auf Grund des mir zugänglichen Untersuchungsmaterials hinsichtlich des Phosphorsäuregehaltes der Böden in Deutschland und der Tschechoslowakei will ich versuchen, an die Ergebnisse dieser Untersuchungen einige landwirtschaftliche Betrachtungen zu knüpfen.

Zweck aller dieser Untersuchungen muß es sein, der Landwirtschaft in großen Zügen die Zusammenhänge zwischen Bodenzustand, Düngung, Ertrag, Krankheitsbefall und Rentabilität der landwirtschaftlichen Arbeit zu erklären, damit dann der Landwirt auf Grund seiner eigenen Beobachtungen eine größere Sicherheit in der Düngervirtschaft erhält.

Zur Verallgemeinerung brauchen wir die Statistik. Für Deutschland ergibt z. B. die Statistik von 1927, daß von 14 433 untersuchten Böden 69,4% Phosphorsäuremangel, 14,2%

einen mittleren und nur 14,4% nurall einen genügenden Phosphorsäuregehalt aufweisen. Ein Zeichen, daß die absolute und relative Phosphorsäureddingung zu verstärken wäre und eine Einschränkung in der Phosphorsäurezufuhr nur auf Grund von Bodenuntersuchungen, und da vorsichtig, vorzunehmen ist.

Die Zahl der wirklich ausgeführten Bodenanalysen auf Phosphorsäure beträgt für Deutschland im Jahre schätzungsweise 40- bis 55 000, so daß bei 20 Millionen Hektar landwirtschaftlicher Fläche erst auf 400 bis 500 Hektar eine Probe entfiel. Vergleiche werden also immer nötig sein.

Krische bringt in seinem ausgezeichneten Werke „Bodenkarten“, Verlag Parey, eine Karte der Verteilung der guten, mittleren und schlechten Nährflächen in Deutschland. (Abb. 1.)

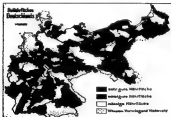


Abb. 1a.

Die Nährflächen Deutschlands nach Prof. Schen, Leipzig. In Übereinstimmung mit der agronomischen Bodenkarte stimmen die sehr guten Nährflächen durchweg überein mit den tiefen glänzigen schweren Böden. Eine einzige Ausnahme macht das Rheintal, wo trotz des vorwiegend leichten Bodens durch das günstige Klima eine sehr gute Nährfläche geschaffen wird.



Abb. 1 b.

Hier im Bilde ist daneben die relative Phosphorsäurebedürftigkeit der Böden dargestellt. Wir sehen, daß vor allem der Westen, das ist das Rheinland, Westfalen, Saargebiet, Oberhessen, relativ gute Phosphorsäureverhältnisse in seinen Böden zeigt. Nur 40 bis 50% der Böden haben weniger als 5 mg Phosphorsäure (nach Neubauer). Hingegen sind fast ebensoviel Prozent der Böden reich an Phosphorsäure, d. h. haben einen Neubauerwert von über 20 mg.

Dem relativen Phosphorsäurebedürfnis nach geordnet ergibt sich folgendes Bild:

Von den untermischten Böden waren phosphorsäurearm:
(unter 5 mg nach Neubauer).

- 40—50% in Westfalen, Oberhessen, Saargebiet.
- 50—60% in Rheinhausen, Rheinfels, Württemberg, Kassel, Hessen-Nassau.
- 60—70% in Oldenburg, Mecklenburg-Schwerin, Niederbayern, Baden, Ostpreußen, Oberfranken, Bayern, Schlesien.
- 70—80% in Anhalt, Sachsen, Hannover, Schleswig-Holstein, Unterfranken, Ostpreußen, Mecklenburg-Strelitz, Schwaben, Braunschweig, Kiel, Hamburg, Pommern, Thüringen, Lüneburg, Lüneburg.

Relative Phosphorkonzentration der Böden in Prozenten.

Provinz	ant. Gang	8-8 mg	vor 8mg	Zahl der Prob.	höchster niedrigster Neuhäuserw.	Anmerkung
1. Westfalen	41,7	30	27,7	721		
	40,3	34,0	30,6	303		
2. Oberhausen	45,6	17,3	40	337		Viel P_2O_5 -reiche Böden
	20,4	32	31,0	303		
3. Saargebiet	50	20,3	23,6	76		Weingebiet
4. Rheinhessen	51,5	13,7	34,9	410		
	22,0	13,5	20,0	347		
5. Rheingebiet	56	12,8	20,1	720	0,3—21,8 mg	
6. Wiesbaden	56,6	23,6	17,7	106		
	31	19,0	20,0	307		
7. Kassel	59,5	8,7	24,7			
Hannover-Wesertal	60	15,0	23,0	470		
	55,7	13,0	25,1	720		
8. Oldenburg	61,7	21,7	18,0	60		
					0—11,3	
	60,8	19,0	14,1	300		
	77,8	21	11,7	104		Anteil Uners.
9. Mecklenburg-Schwerin	62,1	27,5		341		
	33,0	20,0	10,1	400		
10. Niederbayern	64,1	10,3	20			Uners. Nichte
	70,8	10,0	11,4			Anteil Uners.
11. Baden	66,1	14,2	18,0	1273		
	71,0	15,0	10,0	1473		
12. Ostpreußen	69	17	14	ca.		1927
	65	17	18	3000		1928
	60,7	10,4	20,0	4433	0—18 mg	
13. Preußen	69	14	17			
	60,8	14,0	14,7	4070		
14. Brandenburg	68,3	17,0	13,0	350		Landbergel.
	53,0	20	20,0	400		
15. Bayern	70,8	13,4	15,4			Mittelwerte
	50,4	20,0	23,7	1007		
16. Schlesien	70,8	12,0	13	2150		
	20,4	16,7	11	704		
17. Anhalt	71					
	60,0	10,0	20,0	704		
18. Unterfranken	73,5	12,5	13,5	1000	0,1—17 mg	
19. Oberbayern	75,0	10,0	7,0	300		Niklas
	73,0	10,1	10,0	600		Anteil Uners.
20. Oberpfalz	74,0	14,0	10,0	721		
21. Mittelfranken	75,0	9,7	11,0	67	0—10,3	
22. Sachsen	76,7	8,0	17,0	2040	0—21,4	
	77,0	10,7	8,0	704		
23. Hannover	78,7	10,0	7,7		0,2—13 mg	
	79,8	10,0	8,0	100		

Nr.	Provinz	mit 5—8		Zahl der Prob.	Höchst- niedrigster Neubauer's.	Anmerkung
		5mg	8mg			
24.	Schleswig-Holst.	79	15	8	2539	Viel Kalkwerte
		84,5	8,4	8	2823	
25.	Braunschweig . .	80,8	8,8	10,3	286	
		43,8	26,1	26,1	242	
26.	Pommern	34,1	9,1	9,3	40	0—14,8mg
		45,7	16,4	20,3	12	
27.	Rheinl.	80,7	10,1	9,11	2539	
28.	Mecklenburg- Strelitz	88,4	11,7		200	
		77,3	19,3	19,4	265	Jena
29.	Hamburg	83	18		55	
30.	Thüringen	84,8	4,8	19,7	264	
		79,4	14,3	25,8	2441	
31.	Lüneburg	69,7		11,1	1936	
32.	Lüneburg	91,8	6,7	1,4	278	
		81,1	8	6,8	240	

Kurze-Ziffern: Ergebnisse bis 31. September 1937 nach der Tabelle von Dr. G. Lieber, Zschr. Pflanzenernähr. Düngung, B. 8, 201 (1938).

Ein Vergleich mit den guten und schlechten Nährflächen und dem, allerdings sehr schematisch dargestellten Phosphorsäurebedürfnis der Böden zeigt, daß nicht die „Güte“ der Flächen allein, sondern die Bewirtschaftungsart, Düngefolge, Betriebsintensität, eine ausschlaggebende Rolle für den Gehalt der Böden an leichtaufnehmbarer Phosphorsäure spielt (Abb. 2.)

Im Rheinland, Saargebiet ist es wohl vor allem der starke Weinbau, der so einen hohen Prozentsatz phosphorreicher Böden verursacht. Im Weinberg erfolgt die intensive Bearbeitung und auch stärkste Düngung, sowohl mit Stallmist als auch Kunstdünger. Die qualitätsverbessernde und vor allem die frostschtzende Wirkung einer ausreichenden Phosphorsäure- und Kaliumdüngung für die Reben, ist den Weinbauern sicherlich bekannt⁴⁾.

So lag bei 15 Böden (Landwirtschaftsamt Spremlingen) aus kleinen und mittleren Betrieben der Phosphorsäuregehalt der Ackerböden zwischen 8 bis 18,08 mg; bei Weinbergböden zwischen 8,8 bis 28,6 mg; selbst bei Annahme eines Neubauer-Wertes von 12 mg Phosphorsäure als wahrscheinliche Höhe für eine sichere Höchstgrenze (100 hl Most) waren

⁴⁾ Vgl. Dr. E. Spahr, „Was lehrt uns die Untersuchung rhein-
landischer Weinbergböden nach der Methode von Prof. Neu-
bauer?“ Wein u. Rebe, X (1939).

In den Gegenden in Deutschland mit so gutem Phosphorsäuregehalt der Böden, spielt sicherlich der Umstand eine Rolle, daß die Phosphorsäurefänger liefernde Industrie vorzuziehen neben dem Acker steht.

Von praktischem Interesse ist die Frage, ob sich bestimmte gesetzmäßige Zusammenhänge zwischen dem geologischen Ursprung und dem Phosphorsäuregehalt feststellen lassen, um so die Untersuchungsergebnisse leichter verallgemeinern zu können.

Gesetzmäßigkeiten lassen sich, wie schon von vielen Seiten betont, auch auf Grund des von mir bearbeiteten Materials nicht feststellen. Örtlich können sich in beschränktem Maße gewisse Zusammenhänge nach dieser Richtung ergeben. Ausschlaggebend für den leichtaufzuschmierbaren Phosphorsäuregehalt der Böden ist die Kultur und Düngung.

Ein interessantes Beispiel dafür sind die Untersuchungen von L. Schmitt, Darmstadt⁵⁾.

Es wurden 66 Basaltverwitterungsböden aus dem Gebiete des Vogelsberges (5500 qkm) untersucht. Bodenart: schwere tonige Lehm Böden. Von den untersuchten Böden, die also einem Gestein entstammen, dessen Phosphorsäuregehalt als hoch bezeichnet werden muß (3,68%), zeigten 69% der Böden weniger als 8 mg und nur 31% der Böden waren reicher an Phosphorsäure (mehr als 8 mg). Das sind ähnliche Werte wie sie Niklas für Basaltverwitterungsböden fand⁶⁾.

Niklas fand 80% der Basaltböden phosphorsäurearm, trotzdem man allgemein Basaltböden phosphorsäurereichem nachsagt.

Interessant ist der Vergleich mit anderen Ergebnissen aus Oberhessen. Es erwiesen sich von 387 untersuchten Böden als 69% mit einem Neubauer-Wert unter 8 mg und 40% zeigten einen solchen über 8 mg. Der Typus der Bodenverhältnisse für ein bestimmtes Gebiet kennzeichnet sich also in den Analysenzahlen recht gut.

Mit Recht beginnt man jetzt die Böden mehr vom Standpunkt ihres Bodentypus zu untersuchen und zu beurteilen.

Für die Tschechoslowakei ergibt sich z. B. auf Grund einer Reihe von Untersuchungen folgendes Bild:

⁵⁾ „Nährstoffverhältnisse einiger Basaltverwitterungsböden Oberhessens.“ Ztschr. Pflanzenernähr. Düngung, A., 4, 142 (1929).

⁶⁾ Niklas u. Pöschke-Wieder, Ztschr. Pflanzenernähr. Düngung 1927, 136.

Bodentypen	unter 5 mg %	5—10 mg %	über 10 mg Kubikzentim. %	An- merkung
Skelettböden . .	100	—	—	—
Schwemmland- böden	35—100	30—100	40—60	—
Podsolböden . .	50—90—100	4—90	—	Nur wenige negative Werte an.
Braunerden . .	50—75—100	10—15	10—50—50	—
Schwarzerden, Steppenböden	60	15—30	20—25	—

Das ausschlaggebende Moment für den Phosphorzustand innerhalb des Bodentypus war wieder die Beirichtung und der Kulturstand. (Abb. 3.)

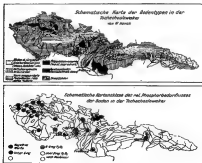


Abb. 3.

Für die Tschechoslowakei habe ich die Resultate der Untersuchungsergebnisse nach Betriebsgrößen zusammengefaßt. Es zeigten sich im Großbetriebe 81%, im Mittelbetriebe 70% und im Kleinbetriebe 100% der Böden als phosphorsäurebedürftig. Sehr arme Böden trafen sowohl im Groß- als auch im Kleinbetriebe auf. Der Mittelbetrieb zeigte keine Böden unter 1 mg nach Neubauer. Bei den untersuchten Böden handelt es sich durchaus um gut geführte typische Betriebe. Als Kriterium diente der gute Reaktionszustand der Böden, nur 2% der untersuchten Böden verlangte eine höhere Kalkdüngung als 10 dt/ha. Der Schluß, daß die Nährstoffverhältnisse in den übrigen Böden ähnlich oder schlechter sein werden, ist berechtigt. Überall werden Proben zuerst von den fortschrittlichsten, fleißigsten Landwirten zur Untersuchung gebracht. Dies gilt auch in Deutschland.

Besondere Beachtung verdient aber gerade der Nährstoffgehalt der Böden in den Kleinbetrieben, 5—50 Hektar Fläche. In der Tschechoslowakei entfallen z. B. auf die bäuerlichen Betriebe 97,91% aller Wirtschaften und 72% der Gesamtfläche.

In Deutschland entfallen nach der Betriebszählung von 1925⁴⁾ auf die Großbetriebe über 100 ha 89% und auf die bäuerlichen Betriebe (2—100 ha) 97,7% der Gesamtfläche. Der bäuerliche Besitz von 5—50 ha, der rund 17,8 Millionen Hektar Fläche umfaßt, ist für eine Steigerung des Kunstdüngerabsetzes am wichtigsten. Die Erforschung der bodenkundlichen Verhältnisse dieser Betriebsgröße ist deshalb für Zwecke der chemischen Industrie besonders wichtig. Im allgemeinen sehen wir im Kleinbetrieb ein relativ stärkeres Phosphorsäurebedürfnis als im Großbetriebe der gleichen Gegend.

Niklas führte solche Untersuchungen durch; von 11 000 Böden aus dem Klein- und Mittelbesitz waren 58% stark, 36% bedingt und 11% nicht phosphorsäurebedürftig. Von den Böden aus 15 Großgütern (zusammen 13 080 ha) waren 26% stark, 41% bedingt und 33% nicht phosphorsäurebedürftig.

In Gegenden mit mehr gleichartigen Bodenverhältnissen lassen sich für die einzelnen Betriebe ganz gut Mittelwerte des Nährstoffbedarfes der Böden erkennen. Doch auch da macht sich z. B. bereits die verschiedene Bewirtschaftung von Vorwerken im Nährstoffbedarf der Böden kenntlich.

⁴⁾ Wirtschaft und Statistik Nr. 9 [1927].

Innerhalb des einzelnen Betriebes sehen wir im allgemeinen, daß die eufferster liegenden Schläge ärmer an leichtaufnehmbarer Phosphorsäure sind. Die Ursache liegt wohl darin, daß diese Felder weniger Stallmist erhalten, ohne daß dieser Mangel durch entsprechend stärkere Kunstdünger ausgeglichen würde. In der Erkenntnis der Ursache liegt der Schlüssel zur Abhilfe.

Für ein größeres Gebiet, z. B. einen Kreis, ist es schon schwieriger, solche Mittelwerte zu finden. Setzt man aber solche Mittelwerte ein, so findet man deutliche Unterschiede im Nährstoffbedürfnis der Böden, die teils durch die örtliche bessere Lage, andere Bodenverhältnisse oder andere Bewirtschaftungsverhältnisse bedingt sind. (Abb. 4, Kartenskizze von Schlesien.)

Es fragt sich, ob das relative Verhältnis von phosphorsäurearmen, -mittelmäßig bedürftigen und phosphorsäurereichen Böden für ein bestimmtes Gebiet stark wechselt, oder ob diese Relation etwas Typisches zu sein scheint. Analysen aus verschiedenen Jahren für das gleiche Gebiet oder unabhängig voneinander angestellte Bodenuntersuchungen zeigen für ein bestimmtes Gebiet eine sehr gute Übereinstimmung. Es ist also die Relation etwas Typisches.

Jahr	Provinz	unter 5 mg %	5-8 mg %	über 8 mg %	Anmerkung
1927	Ostpreußen	69	17	14	—
1928	„	65	17	18	—
1929	Preußen	66	14	17	—
1925—28	Bayern	51	40	9	Stilles, mit Asper- bakterienboden- untersucht.
	„	60	35	5	Bodenanalysen.
	Niederbayern	64	10,5	25	—
	Mittelwert für Bayern	70	13	15	—
1926—28	Mecklenburg-Schwerin	62,1	37,5	—	—
1928—29	„	67,7	32,5	—	—
1929—30	Mecklenburg-Strelitz .	66,4	11,7	—	—
1928—29	„	75,9	21,1	—	—
	Ostenburg	71	17,5	11	—
	„ (II. Serie)	68,2	18,5	12	—

Es ist nicht Zweck meiner Ausführungen, auf die Vorzüge und Nachteile der einzelnen Methoden zur Phosphorsäurebestimmung des Bodens einzugehen. Darüber sind schon Bibliotheken geschrieben und gesprochen worden. — Für die



Abb. 4.

landwirtschaftliche Praxis erfüllen die jetzt gebräuchlichsten Methoden ihren Zweck. — Im allgemeinen zeigt sich zwischen den Resultaten der Lemmermannschen und der Neubauer methoda eine gute Übereinstimmung²⁾. (Vgl. Tabellen.)

²⁾ Vgl. die Untersuchungen von O. Engels, *Beiträge d. Landwirtschaftl. Vergleichende Versuche über die Methoden zur Feststellung des Düngungsbedürfnisses der Böden*. Dr. Linkermann, *Kleinpflanzen- und Citronenbaummethoda, Zücht. Pflanzenzücht. Düngung*. II. 4, S. 158 (1908).

Auch im Vergleich zu Feldversuchen sind die Ergebnisse der Untersuchungsverfahren befriedigend. Zu einer hundertprozentigen Übereinstimmung kann es ja gar nicht kommen, denn beim Boden und den Pflanzen haben wir es mit lebenden Organismen zu tun, deren Entwicklung von außerordentlich vielen Faktoren abhängt. Der Pflanzenbau ist im Grunde praktische Biochemie und Physiologie; wir können also auch gar nicht erwarten, mit einer Laboratoriumsmethode alle diese Faktoren auch wirklich zu erfassen.

Die Hauptaufgabe, welche die Phosphorsäureuntersuchungen des Bodens haben, dem Landwirt einen gewissen Einblick in die Nährstoffverhältnisse seiner Böden zu geben, erfüllen sie.

Von Interesse ist bei der Neubauer-Untersuchung das Auftreten von „negativen Werten“. Dr. Gericke⁷⁾ bemängelt, daß bei der Methode Neubauer auch negative Werte auftreten, und schließt daraus, daß die Citratmethode entschieden den Vorrang verdient.

Ohne auf die Auseinandersetzung Gericke—Neubauer⁸⁾ einzugehen, sei festgestellt, daß negative Werte selbst auftreten. Die meisten Minuswerte sind bis jetzt bei finischen Böden aufgetreten (bei 127 Proben ergaben sich 22 negative Werte), die sich wie folgt verteilen:

- 8 auf Ton-Moor-Gemische,
- 4 auf Sand-Moor-Gemische,
- 4 auf Moorböden,
- 6 auf stark humosen Sanden.

Die negativen Werte sind hier hauptsächlich auf das Konto Humusgehalt zu setzen. Für besonders humusreiche Böden scheint die Methode weniger geeignet.

Nun traten auch bei Böden aus der Tschechoslowakei, bei denen die Voraussetzung eines besonderen Humusgehaltes nicht zutrifft, negative Neubauer-Werte auf. Bei einer Serie von 26 Proben aus einer Gegend waren davon 18 Proben negativ. (Abb. 5.)

⁷⁾ Die Neubauer'sche Keimpflanzenmethode und die Citratmethode zur Erkennung des Düngestoffbedürfnisses des Bodens an Phosphorsäure, *Jl. Landw. Ztg.* 45 [1933].

⁸⁾ *Ill. Landw. Ztg.* 1936, Nr. 52.

Das Auftreten von negativen Neubauer-Werten soll als ein Zeichen gedeutet werden, daß mit dem Boden etwas nicht in Ordnung ist.

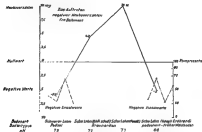


Abb. 5.

Hier ist der negative Neubauer-Wert ein Hinweis, den die chemische Analyse in dieser Art nicht gibt, nämlich, daß der Boden in irgendeiner Weise giftig auf die Keimpflanzen einwirkt. Tatsächlich beträgt auch die Zahl der Keime statt 100 nur 80–85.

(Als Analyse sollen Proben, die weniger als 94 normale Sprossen liefern, verworfen werden.)

Im vorliegenden Falle bestätigt dies auch die landwirtschaftliche Praxis (Bödd-Brief). Normal wird dort 80–100 kg Getreide je Hektar gedüngt; auf diesen Feldern, welche negative Werte zeigten, wird seit 30 Jahren immer 140–160 kg/ha gedüngt. (Abb. 6.)

Diese Felder waren ausgesprochene Podsoltypen mit allen Nachteilen der verschiedenen Horizonte. Der Boden verkrustet leicht, ist sehr humusarm, naß, trotz Dränage. —

Bodenprobenuntersuchungen.

Nr.	Bodenproben Nr.	Kornphasen		Anzahl der geheilten Körner
		Kieselsäure	Mittelwerte	
1	998	— 0,22	— 2,3 mg	
		— 3,34		
		— 0,09		87
		— 0,06		91
2	999	— 0,37	— 3,1 mg	
		— 7,08		
		— 1,90		89
		— 1,47		93
3	990	— 0,51	— 3,1 mg	
		— 0,17		
		— 0,10		83
		— 0,09		89
4	991	— 3,00	— 3,0 mg	
		— 4,08		
		— 0,72		81
		— 0,17		79
5	992	+ 0,88	— 3,0 mg	
		— 1,05		
		— 2,06		87
		— 0,45		79
6	993	— 0,25	— 3,5 mg	
		— 0,49		
		— 0,38		85
		— 0,08		93
7	994	— 1,01	— 2,5 mg	
		— 0,03		
		— 0,28		81
		— 0,24		92
8	995	— 2,23	— 3,0 mg	
		— 0,05		
		— 0,56		92
		— 0,37		92
9	996	— 0,31	— 0,9 mg	
		— 0,00		
		— 0,22		90
		— 0,79		90
10	997	— 1,27	— 1,5 mg	
		— 1,90		
		— 1,00		88
		— 0,90		91
11	998	— 1,15	— 1,8 mg	
		— 10,16 g Gesamt		
		— 0,01		86
		— 4,22		85

Nr.	Dosenproben Nr.	Keimpflanzen		Anzahl der gekeimten Körner
		Einzelwerte	Mittelwerte	
12	999	— 10,90 — 6,50 — 5,70 — 8,80	— 7,8 mg	80 84
13	1000	— 0,10 Verlust — 1,90 — 1,80 — 2,84	— 2,2 mg	87 89
14	1001	— 7,84 — 8,10 — 4,80 — 0,80	— 4,8 mg	87 88
15	1002	— 2,87 — 3,18 — 4,00 — 2,10	— 2,9 mg	84 88
16	1003	— 14,81 — 11,87 — 12,84 — 0,80	— 9,7 mg	82 84
17	1004	— 3,70 — 6,80 + 3,80 + 1,10	— 2,7 mg Mittel aus den beiden Fluswerten	80 80
18	1005	— 1,80 — 4,17 — 3,24 + 1,80	— 1,9 mg	80 88

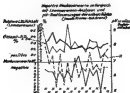


Abb. 6.

Negative Werte treten aber in großer Zahl auch an anderer Stelle auf. Hier im ausgesprochenen Industriegebiet. Die erste Vermutung auf chronische Rauchschäden scheint nicht richtig, auch Regen die einzelnen Felder bis 5 km weit auseinander. Schäden durch Cyanwasserstoffe und Pyridinverbindungen, wie sie in der Nähe von Zinkereien auftreten, Regen nicht vor. Die Ursachen für das Auftreten der negativen Werte in diesen Böden sind noch unbekannt. Auch ein besonderer Eisenüberschuß liegt nicht vor. Das Verhältnis P_2O_5 zu Tonerde und Eisen ist $1 : 40 - 1 : 60$, also im Sinne von Wiegner als günstig anzusprechen. Auch teilte mir Herr Prof. Neubauer mit, daß z. B. ein Zusatz von gefälltem Eisenhydroxyd zu den Böden keinen besonderen Einfluß auf die Analyseergebnisse hatte.

Die grundsätzlichen Ursachen des Auftretens von negativen Neubauer-Werten sind noch ungeklärt. Man vermutet:

1. Besonders große Phosphorsäurearmut. Es tritt Phosphorsäure aus den Körnern in den Boden und wird dort festgehalten.
2. Ist das Verhältnis Phosphorsäuregehalt der Körner zu aufgenommener P_2O_5 -Menge aus dem Boden gerade bei jenen Böden am ungünstigsten, die an diesem Nährstoff sehr verarmt sind. So enthalten 100 Roggenkörner rund 20 mg P_2O_5 , während ein sehr P_2O_5 -armer Boden oft nur wenige Zehntel mg P_2O_5 an die Keimpflanzen abgibt.
3. Daß der Boden auf die Keimpflanzen giftig wirkt. Dieser Fall liegt hier vor.

Praktische Schlüsse aus den negativen Werten:

1. Besonders große Phosphorsäurearmut. Tatsächlich sind auch die Lemmermann-Werte sehr niedrige (Vgl. Graphiken).
2. Ursachen suchen, die auf Keimpflanzen schädlich wirken könnten. Andererseits können diese Erscheinungen dazu anregen, in solchen Fällen, wo die Praxis erfahrungsgemäß auf einzelnen Feldern besonders dicht ist, mit

Hilfe der Keimpflanzenmethode zu untersuchen, ob nur Phosphorsäuremangel oder andere Umstände vorliegen. Ist nur Phosphorsäuremangel die Ursache, so kann die Mehrausgabe für Saatgut besser für Phosphorsäuredünger verwendet werden.

2. Die Industrie wird sich bei Beschadensungsprüfungen zweckmäßig der Keimpflanzenmethode bedienen. Treten dabei an den Schadensstellen negative Werte auf, so kann dies ein wichtiger Hinweis sein, durch Kauf oder Ausgleich teure Prozesse zu vermeiden.

Viel diskutiert wird die Übereinstimmung von Feldversuchen mit den Resultaten der Laboratoriumsmethoden. Nach den Untersuchungen von Prof. Reemer^{*)} wurde eine rund 80%ige Übereinstimmung erzielt. Opitz berichtet ebenfalls von 80% Übereinstimmung bei Getreide und 72% bei Hackfrüchten^{*)}.

Als Ursache für das Nichtübereinstimmen nennt Reemer:

1. Unterschiede im Nährstoffgehalt des Untergrundes gegenüber der Ackerkrume.
2. Werden die Gesteine mit den 100 g Boden auf das gleiche Gewicht gebracht, haben somit verschiedene Sättigung der Wasserkapazität. Es fragt sich, ob nicht alle Böden auf den gleichen Sättigungsgrad der Wasserkapazität gebracht werden müßten.
3. Die bodenkundliche Theorie der Bodenbildung liefert auch für diese Erscheinungen gute Erklärungen. Sie erklärt z. B. warum manche Böden, die in der Ackerkrume weniger in Salzsäure lösliche Phosphorsäure enthalten, trotzdem schwächer auf die Phosphorsäurezufuhr reagieren; z. B. bei Bodenbildungen steigt durch die Auslaugung in den oberen Schichten der Gehalt an wurzellöslicher Phosphorsäure im Untergrunde. Geben wir auf solche Böden stärkere Phosphorsäuredüngung, so kann es

^{*)} Nähere Angaben von Neubauer-Analysen im Vergleich mit Feldversuchen, Zuckr. Pflanzenverf. Dgung 18, 590 (1927).

^{*)} Vergleichende Untersuchungen über die durch die Keimpflanzenmethode ermittelten Nährstoffgehalte von Ackerböden, Landwirtschaft. Jahrbücher.

vorkommen, daß doch die Ertragsverhältnisse nicht entsprechend ist, deshalb, weil Hefer wurzelnde Pflanzen in solchen Fällen ihren Phosphorsäurebedarf vorwiegend aus den tieferen Schichten gedeckt haben. Tatsächlich sehen wir auch bei Feldversuchen mit Hackfrüchten (wie ich neuer auch in der Tschschodowskoi feststellen konnte) geringere Übereinstimmung mit den Ergebnissen der Analyse. Dazu kommt noch der Umstand, daß durch die Bearbeitung des Bodens im Laufe der Vegetationsperiode die biochemischen Verhältnisse im Boden weitgehend geändert werden. —

Der Ausnutzungskoeffizient der Dünger ist sicherlich vom Bodentypus abhängig⁴⁹⁾.

Dr. Smolik, Brünn, gibt übrigens noch eine andere Erklärung für das Nichtübereinstimmen von Laboratoriums- und Feldversuchen an, die interessant genug ist, um weiter nachgeprüft zu werden⁵⁰⁾.

Es ist nach Smolik nötig, bei einem Vergleich des Phosphorsäuregehaltes der Böden, diese Werte auf das „Volumgewicht“ umzurechnen; z. B. verschiedene Böden zeigen den gleichen Phosphorsäuregehalt von 0.073%, aber sehr unterschiedliche Volumgewichte.

Volumgewicht:	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7
Dann sind in einem							
Prisma von 1 m ³ × 10 cm							
in Milligramm P ₂ O ₅							
enthalten	168,3	175,2	184,2	204,4	214,0	233,6	248,7

Die Volumgewichte der meisten unserer Böden bewegen sich zwischen 1,1—1,7.

Die auf Trockensubstanz berechneten Werte sind in einem solchen Falle gleich, während der tatsächliche Phosphorsäuregehalt fast um 40% differiert.

Für die landwirtschaftliche Praxis liegt die Sache wohl so, daß die 25—30% der Fälle, wo keine gute Übereinstimmung der Laboratoriums- mit den Feldversuchen erreicht

⁴⁹⁾ Vgl. Smolik, Bull. de l'Académie Tchecoslovaque d'Agriculture IV. 1926.

⁵⁰⁾ Mitt. d. Tschschodowskischen Akademie f. Landwirtsch. 1929.

wird, kein Moment gegen die praktische Brauchbarkeit der Bodenuntersuchungen auf Phosphorsäure und den Kalkgehalt bilden.

Bei dem bekannt hohen Wirkungswert beider Stoffe ist es in Zweifelsfällen wohl richtiger, lieber viel, als zu wenig Phosphorsäure auszuführen, im Sinne des alten Erfahrungssatzes von Wagner, mit Phosphorsäure dünge ich den Boden. —

Besonders wichtig sind die Bodenuntersuchungen, wenn man mit ihrer Hilfe dem Landwirt über die Grundlagen der Pflanzenernährung in möglichst einfacher und augenscheinlicher Weise belehren kann.

Wenn man dem Landwirt den Boden untersucht, so kommt man ihm schon wesentlich näher. Beiläufig wie der Tierarzt. Da man sozusagen für ihn im besonderen arbeitet.

Dafür will ich ein kleines Beispiel geben.

Hier handelt es sich um Untersuchungen im Braunkohlengbiet in Nordböhmen. — Der Kalk- und Phosphorsäuregehalt erleidet dort, wie aus der Karte ersichtlich, ganz typische Veränderungen, entsprechend den Einwirkungen von Rauch und Haldengasen auf den Boden. So ging an einer Stelle durch das Feld (H) ein Streifen mit auffallend niedrigen *pot*-Werten und *Neubauer*-Zahlen. — Die Untersuchungen führte ich im Jahre 1926/27 aus. Die rauchbeschädigte Stelle hatte *Neubauer*-Werte von 0,9 mg, das übrige Feld von 2,47—2,8 mg.

1928 wurde auf dem Felde Sommergerste gebaut, dort wo der Boden stark an Phosphorsäure verarmt war, im Rauchstreifen, trat starkes Lageru ein. Die Lagerstelle zeigte ganz genau den Weg der Rauchschwaden. (Abb. 7.)

Die Lagerstellen waren noch vollkommen grün, während das übrige Feld bereits schnittreif war. Ein Zeichen erstens für die reifebeschleunigende, zweitens für die halmfestigende Wirkung der Phosphorsäure.

Daß es sich hier vorwiegend um Phosphorsäuremangel handelt geht daraus hervor, daß der Boden verhältnismäßig gute Kalwerte zeigte (28 mg nach *Neubauer*). Der Landwirt hatte auf anderen Feldern im Jahre zuvor sehr gute Er-



Abb. 7.

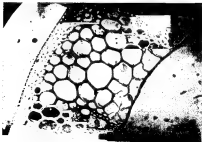


Abb. 8. Gurkenstamm. 2. Internodien von unten. Lagerstelle.

folgte mit Kalkdüngung geküßt und meine damalige Mitteilung von der Phosphorsäurebedürftigkeit nicht zur Kenntnis genommen. Die Wirkung der Phosphorsäure hatte er noch nicht „gesehen“. Jetzt war er überzeugt. (Abb. 8.)

Die Querschnitte, vom 2. und 3. Internodium von unten bzw. vom obersten Internodium, geben ein gutes Bild der Phosphorsäurewirkung¹⁰⁾.

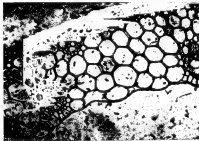


Abb. 8.
Gerstenhalm, 3. Internodium von unten. Lagerzelle.

Relativer Stickstoffüberschuß führt zur Entwicklung eines lockeren, schwammigen Gewebes und wenig tragfähiger, lagerfester Hölzer.

Genügende Phosphorsäureversorgung bedingt ein dichtes Gewebe.

¹⁰⁾ Vgl. P. Stuck, Wallberg, Zschr. Pflanzenernähr. Düngung 8/8 [1924]. Genügende Phosphorsäureversorgung und Holzfestigkeit. Gullfren, Linnau, Kinnel, Klitsch, Plattenberger usw.

Die Lagerpflanzen (Abb. 8, 9, 10) zeigen in den Zellwänden eine mangelhafte Verdickung und Verholzung. Die Zellen sind größer.

Die besser mit Phosphorsäure ernährten Pflanzen haben eine dickere Epidermiszellenwand. Das Sklerenchym und Parenchym ist fester entwickelt. (Abb. 11, 12, 13.)

Ich verweise hier besonders auf die Arbeiten von Klitsch, der zu dem Ergebnis kam, daß die Superphosphat-



Abb. 10.
Gerstenhalm. Oberstes Internodium. Vorschleife.

düngung den Halm zur höchsten mechanischen Leistung befähige. (Abb. 14.)

Diese Feststellungen haben hier durch die Bodenuntersuchung am Felde die beste Bestätigung erfahren.

Noch ein zweites Beispiel für die Praxis sei erwähnt. Durch die Bodenuntersuchung konnte ich feststellen, daß Phosphorsäuremangel Ursache für die „Brennspitzigkeit des Hopfens“ ist. Die Landwirte kennen diese Erscheinung schon lange und halten sie für den Einfluß der Stickstoffdüngung.

Den Zusammenhang hat der praktische Blick wohl erkannt. Die Erklärung ist aber nur bedingt richtig. Nicht der Stickstoffdünger verursacht diese Qualitätsverschlechterung, sondern das Fehlen der nötigen leichtaufnehmbaren Phosphorsäure.

Der Landwirt gibt aber immer, sehr zu Unrecht, dem Düngemittel die Schuld, das er anwendete, und nicht dem, was er unterlassen hat.

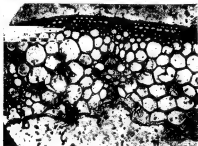


Abb. 11.
Gerstenhalm. 2. Internodium von unten. Normalstelle.

Das Feld zeigte nach der Neubauer-Analyse keine leichtaufnehmbare Phosphorsäure. In den Parzellen ohne Kunstdünger, nur mit Stallmist, trat die Braunspritzigkeit nur vereinzelt auf. Relativer Phosphoreffizienzmangel. Nur die Parzellen, welche Volldüngung ohne Superphosphat erhalten hatten, zeigten an allen Stöcken sehr starke Braunspritzigkeit.

Außer der sehr deutlichen Braunspritzigkeit (Abb. 15) fiel das geringe spezifische Gewicht und das bedauernd schwächere Aroma dieser Bollen auf.

Auf den Hektar berechnet, brähte (1928) die Volldüngung in diesem Garten 498 kg Trockenhopfen. Auf den Parzellen ohne Superphosphat würde sich ein Hektarertrag von 249 kg ergeben. Das ist knapp die Hälfte der Volldüngung, oder ein Schaden von 800 bis 900 Mark, oder 5—7,500 Kesch. Das überzeugt auch den hartnäckigsten Landwirt.

Bei Beratungen über die Düngungsmaßnahmen auf Grund von Bodenuntersuchungen sind die örtlichen Verhältnisse

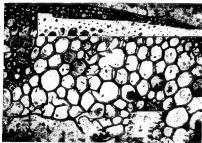


Abb. 12.

Gartenstein. 3. Internodium von unten. Normalstelle.

möglichst gut zu berücksichtigen, aber auch mit der recht unterschiedlichen Denkungsart der Landwirte muß gerechnet werden.

Die Klärlegung solcher Beziehungen in möglichst einfacher Form, ist ein sehr wichtiges Mittel zu diesem Zwecke.

Der Landwirt arbeitet in einem sehr großen Laboratorium. In der Natur selbst, als Hauptinstrument steht ihm dabei

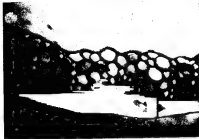


Abb. 13.
Gerstenstalm. Obersies Intermedium. Lagerstelle.

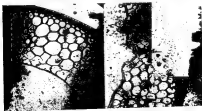


Abb. 14. Gerstenstalm (Jensen¹⁸⁸⁸).
Lagerstelle. Normale Zellen.

eigentlich nur sein „gesunder“ Menschenverstand zur Verfügung.

Denn „Common sense“ die richtigen Wege zu zeigen, ist eine der wichtigsten Aufgaben der Wissenschaft. Denn nur das, was von allen Forschungsergebnissen auf landwirtschaftlichem Gebiete wirklich in das Verständnis der Bauern übergeht, verspricht praktischen Erfolg.



Abb. 25.

Von diesem Gesichtspunkte aus sind die Bodenuntersuchungen eines der wichtigsten Mittel des Fortschrittes, und hoffentlich auch ein bleibendes Mittel gegen die Fehleinnung von dem großen Phosphorsäuremangel unserer Böden und ihren Schlussfolgerungen.

Die Kalkreserven unserer Böden.

Von Dr. W. U. Baumbach.

Aus dem Institut für Pflanzenbau an der Universität Königsberg i. Pr.

Bei meinen Betrachtungen über die Kalkreserven unserer Böden will ich einmal absehen von den Böden, die kohlensäuren Kalk enthalten, denn für diese Böden wird in absehbarer Zeit eine Kalkfrage nicht bestehen. Ich sehe ferner ab von den Böden, die so stark entkalkt sind, daß sie bereits pflanzenphysiologisch offenbar auf Kalk reagieren. Daß diese Böden gekalkt werden müssen, ist selbstverständlich. Ich denke bei meinen Betrachtungen an die Mehrzahl der Böden, die einerseits keine Kalkböden sind und andererseits noch nicht offensichtlich versauert sind.

Wir müssen uns zunächst klarmachen, was der Boden eigentlich chemisch ist. Die wichtigste chemische Bodeneigenschaft ist der Basenaustausch. Bringt man den Boden mit einer Salzlösung in Berührung, so wandert ein Teil der Kationen in den Boden und eine äquivalente Menge eines anderen Kations aus dem Boden in die Lösung. Wollte man eine chemische Definition für den Begriff Boden aufstellen, so könnte man ihn geradezu als ein Diaperoid definieren, das Basen austauschen kann. Jeder Boden enthält also eine bestimmte Menge austauschfähiger Basen. Es fragt sich nun, welche Basen denn in austauschfähiger Form vorliegen. Hiesink (1) studierte wohl als erster diese Frage systematisch und fand, daß die austauschfähigen Basen holländischer Tonböden zu 70% aus Kalk bestehen, der Rest ist Magnesium, Kalium, Natrium. Bei holländischen humushaltigen Sandböden entfielen auf 100 Milläquivalente austauschfähiger Basen 78 Milläquivalente CaO . Hilkeowitz (2) fand bei einem rheinischen Boden einen CaO -Anteil von 84%. Nach Malwaid (3) bestand der austauschfähige Basenanteil schlesischer schwach carbonathaltiger Böden zu 70%, der Basengehalt

carbonatfreier Böden zu 65% aus CaO. Ich selbst fand, daß bei ostpreussischen Böden (4) der Kalk 81% des austauschfähigen Basenantheils ausmacht. Nur unter ganz abnormen Verhältnissen kann der relative Kalkanteil auf 50% herabgehen, z. B. dann, wenn der Boden mit Meerwasser überschwemmt war. Daß der Kalk den Löwenanteil der austauschfähigen Basen darstellt, ist wohl kein Zufall. Nur ein hoher Kalkanteil scheint dem Silicat eine einigermaßen große Beständigkeit zu sichern. Es ist nur in geringem Maße möglich, den Kalk auf die Dauer durch andere Basen zu ersetzen. Hierfür spricht auch, daß der künstliche kalkarme Natriumpermutit gegen chemische Agenden relativ wenig widerstandsfähig ist.

Der austauschfähige Kalk ist der Pflanze leicht zugänglich, und da fast jeder Boden mindestens 0,10% austauschfähigen Kalk enthält, scheint es zunächst ausgeschlossen zu sein, daß die Pflanze an dem chemischen Nährstoff Kalk Mangel leiden könnte. Wir wissen jedoch, daß ein Boden, der weitgehend entkalkt ist, kein für Kulturpflanzen geeignetes Medium darstellt, und daß eine weitgehende Entkalkung des Bodens Pflanzenschädigungen zur Folge hat. Ist der Boden so sauer, daß beim Ausschütteln mit Chlorkalkum Austauschacidität zu beobachten ist, so ist mit Schädigungen zu rechnen. Nach Untersuchungen von Ganssen (3) und nach eigenen Untersuchungen tritt Austauschacidität dann auf, wenn der Sättigungsgrad kleiner als 0,50 ist. Unter Sättigungsgrad versteht man den Gehalt an austauschfähigen Basen in Bruchteilen der Basenmenge, die der gleiche Boden nach Sättigung mit Basen im günstigsten Falle enthalten könnte. Es kann sich also bereits ein Kalkmangel physiologisch bemerkbar machen, auch wenn der Boden noch einen beträchtlichen Vorrat an leichtlöslichem Kalk aufweist. Auch Böden, die stark versauert sind und dringend der Kalkung bedürfen, können noch beträchtliche Kalkmengen enthalten. Es kommt gar nicht auf den absoluten, sondern nur auf den relativen Kalkgehalt an. Die genaue Grenze der Basensättigung, unterhalb welcher Schädigungen auftreten, können wir zwar auf chemischem Wege noch nicht feststellen; wir erhalten aber durch die Analyse einen gewissen Anhalt und können um so sicherere Schlüsse ziehen, je mehr der Boden sich einem Extrem nähert. Ohne Zweifel hängt es auch von der Art der Pflanze ab, ob

Schädigungen eintreten. Vielleicht kann man sagen, daß die stärker kalkbedürftigen Pflanzen einen Sättigungsgrad von mindestens 0,70 verlangen, und daß die weniger kalkbedürftigen Pflanzen nur bei einem Sättigungsgrad oberhalb 0,50 Höchstserträge geben.

Ich habe nun bei 40 entsprechenden Böden den Sättigungsgrad und den Basengehalt bestimmt. Die Böden waren wahllos herausgegriffen worden aus Bodenproben, die der Mitteleuropäisch-Gesellschaft zur Nährstoffkontrolle eingesandt waren. Sie stellten also Durchschnittsproben aus einige Hektar großen Schlägen dar und stammten aus Wirtschaften, deren Besitzer fortschrittlich dachten. Der Basenvorrat wurde mit der Basenmenge verglichen, die einem Sättigungsgrad von 0,70 bzw. 0,50 entspricht. In Tab. 1 bedeutet „+“, daß nach Abzug dieser Basenmenge noch ein Basenvorrat vorhanden ist, und dahinter steht dann die Größe dieses Basenüberschusses, „—“ bedeutet ein Defizit gegenüber dem Soll oder die Basenmenge, die nötig ist, um den betreffenden Sättigungsgrad herzustellen. Alle Zahlen sind auf Kilogrammen Kalk (CaO) pro Hektar berechnet. Es ist aber zu beachten, daß bei Vorliegen eines Basenvorrates nur durchschnittlich 80% tatsächlich CaO ist. Die Umrechnung des Gehaltes von 100 g Feldboden auf Hektar erfolgte durch Multiplikation mit $3 \cdot 10^6$.

Tabella I.

Basenvorrat (+) resp. Basendefizit (—) in kg CaO/ha gegenüber einem Sättigungsgrad von

Bd.	0,70	0,50	Bd.	0,70	0,50
2	— 2700	— 1600	34	+ 500	+ 2100
18	— 1800	+ 800	1	+ 300	+ 1700
20	— 1300	+ 1300	44	+ 400	+ 2600
22	— 1100	— 100	25	+ 500	+ 1900
23	— 900	+ 800	6	+ 600	+ 3900
21	— 900	+ 1400	42	+ 900	+ 2800
33	— 900	+ 900	19	+ 1000	+ 3400
41	— 700	+ 400	5	+ 1000	+ 3100
4	— 700	+ 1200	16	+ 1400	+ 3000
24	— 600	+ 600	3	+ 1400	+ 4000
43	— 500	+ 1500	17	+ 1500	+ 4000
30	— 500	+ 1400	40	+ 1600	+ 4200
34	— 500	+ 2000	12	+ 1600	+ 3600
27	— 500	+ 2300	43	+ 2100	+ 4300

26	—	400	+ 2500	13	}	+ 3000	+ 5000
33	—	800	+ 1400	14			
34	—	200	+ 1800	36			
35	—	300	+ 2000	37			
36	—	100	+ 2400	38			
18		0	+ 2800	39			

Aus dieser Zusammenstellung ist zu ersehen, daß ein großer Teil der untersuchten Böden kalkbedürftig ist. Aber das ist uns ja nichts Neues. Wichtiger ist mir hier die Feststellung, daß auch ein großer Teil der übrigen Böden nach Entzug von gar nicht sehr großen Mengen CaO kalkbedürftig werden kann.

Vergleichen wir mit diesen Zahlen einmal die Kalkmengen, die eine Jahresernte dem Boden entzieht.

Tabelle 2.
Kalkentzug einer Jahresernte verschiedener Pflanzen.

Pflanze	Jahresernte	kg CaO/ha
Luzerne	100 dt Heu	250
Erbsen	50 dt Heu	120
Baps	25 dt Korn	110
Zuckerrübe	200 dt Rüben	70
Forstfrühe	400 dt Rüben	50
Wiesenheu	10 dt Heu	50
Lupine	21 dt Korn	40
Gerste	22 dt Korn	21
Hafer	20 dt Korn	21
Weizen	23 dt Korn	19
Roggen	22 dt Korn	18
Kartoffel	240 dt Knollen	7 (ohne Kraut)

Der Kalkbedarf der einzelnen Pflanzen ist außerordentlich verschieden. Es ist wohl kein Zufall, daß die Pflanzen, die auf versauerten Boden zuerst vorseuen, im allgemeinen auch viel Kalk zu ihrer Ernährung bedürfen (Ausnahme Gerste). Die größten Kalkfrüher sind die Leguminosen, insbesondere die Luzerne, und die Sandgewächse. Es ist einleuchtend, daß nach langem Kleebau ein kalkarmer Boden Kleebrüde werden kann. Die kalkfeindliche Lupine stellt weniger hohe Ansprüche. Eine Mittelstellung nehmen die

Rüben und das Wiesenschnen ein. Die geringsten Ansprüche an den Kalkvorrat des Bodens stellen die Halmfrüchte und die Kartoffel. Glücklicherweise ist ein Teil der anspruchsvolleren Pflanzen, insbesondere die Luzerne, instande, sich noch auf den Kalkgehalt des Untergrunds einzurichten, so daß der Kalkvorrat der Krume weniger stark angegriffen wird.

Sehen wir uns jetzt nach den weiteren Kalkverbindungen um. Beschränkte Mengen Kalk finden sich in der Bodenlösung. Für die Aufstellung von Kalkbilanzen haben diese wasserlöslichen Kalksalze ganz besonderes Interesse, denn sie unterliegen anscheinend leicht der Gefahr des Ausgewaschenwerdens. In Tabelle 3 sind die Zusammensetzungen einiger Bodenlösungen angegeben. Die Lösungen wurden teils durch Auspressen des Bodens gewonnen, teils wurden Drainagewässer und Bodenauflage untersucht.

Tabelle 3.
Zusammensetzung von Bodenlösungen.

Gewinnung	Beobachter	Gehalt (Mittelwerte) in mg/l					
		CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	Cl	SO ₄
Friedsolt	Ramann (5)	128	22	17	—	—	88
"	van Zyl (7)	126	42	25	145	101	124
"	Krausz (8)	124	39	27	202	121	217
Drainagewasser	Vockner (9)	126	7	2	12	25	71
" (Höchstwerth)	Crocid (10)	124	46	4	—	—	89
" (niedrigst. W.)	Crocid (10)	127	31	2	—	—	43
" (Hochmoor)	von Feltzen (11)	12	—	—	—	—	—
" (Waldhof)	von Feltzen (11)	122	—	—	—	—	—
Auszug 1:3 Bö. 8.	Behrens (4)	72	12	22	14	—	—
" 1:2 " 4.	Behrens (4)	20	2	11	11	—	—
" 1:2 " 2.	Behrens (4)	61	10	28	12	—	—
" 1:2 " 0.	Behrens (4)	12	2	2	2	—	—

Wir sehen, daß sich fast alle Bodenlösungen durch hohen Kalkgehalt auszeichnen, bei den meisten Bodenlösungen ist Kalk der Hauptbestandteil. Für die Pflanze ist das sehr günstig. Sie findet in der Bodenlösung stets genügend Kalk vor, um ihren momentanen Bedarf zu decken. Die Bodenlösung erglänzt dann ihren Kalkgehalt aus dem austauschfähigen Kalkvorrat.

Es ist nun vielfach die Ansicht verbreitet, die löslichen Kalksalze würden leicht aus der Krume ausgewaschen, ja man

könne aus dem Kalkgehalt der Bodenlösung direkt den Kalkverlust der Ackerkrume infolge Auswaschung berechnen. Besonders die Analysen der Drainagewässer haben dazu veranlaßt, aus dem Gehalt und der Menge des Wassers, das in einem Jahre die Drainröhren passiert, den Jahresverlust an Pflanzennährstoffen zu berechnen. Man kommt bei dieser Berechnungsweise zu ganz phantastischen Zahlen. So berechnen Craydt, von Seelhorst und Wilms (10) einen Jahresverlust von 480 kg CaO, von Feilitsen (11) kommt auf 446 kg CaO für ungedüngten und auf 182 kg CaO für gedüngten Humusboden. Nach Rothmstädter Versuchen (9) ergibt sich gar 1000 lbs. pro acre = 1100 kg pro Hektar.

Es wäre völlig abwegig, diese Zahlen zu verallgemeinern. Sehen wir uns einmal die Anionen an, die in der Bodenlösung vorkommen. Es sind außer Hydrocarbonationen vor allem Chloride und Sulfate. Das Chlor kommt in der Natur ausschließlich als wasserlösliches Salz vor, auch der Schwefel ist zum größten Teil als Sulfat im Boden. Würden unsere Acker tatsächlich einer so starken Auswaschung unterliegen, wie es nach den Untersuchungen der Drainagewässer den Anschein hat, so müßte im Laufe der Jahrhunderte längst alles Chlor verschwunden sein und es dürfte höchstens eine Chlorkonzentration entsprechend dem Chlorgehalt des Regenwassers herrschen. Im Regenwasser sind aber nach meinen Untersuchungen an kontinentalen Orten höchstens 2—3 mg/l. Auch der Sulfatgehalt ist größer, als nach dem geringen Vorkommen von schwefelhaltigen Mineralien zu erwarten wäre. Außerdem müßten die Böden auch längst im Laufe der Jahrhunderte völlig entkalkt sein, wenn sie jährlich Kalkverluste von einigen hundert Kilogramm zu erleiden hätten. Ich glaube daher, daß die in der Bodenlösung enthaltenen Stoffe dem Acker nicht restlos durch Auswaschung verlorengehen. In der heißen Jahreszeit wird vielmehr auch in unseren Breiten eine Wasserbewegung von unten nach oben eintreten, und ein großer Teil der Nährstoffe, die durch die Winterkälte ausgewaschen waren, wird so der Ackerkrume wieder zugeführt.

Obwohl wir also aus dem Gehalt der Bodenlösung den jährlichen Nährstoffentzug nicht berechnen können, sind die oben angegebenen Analyseergebnisse für das Problem der Kalkbilanz wichtig. Die Zahlen lehren uns, daß eine Boden-

lösung, die im Gleichgewicht mit den festen Bodenbestandteilen steht, recht beträchtliche Mengen Calcium enthält. Jede Düngung des Bodens mit Alkalisalzen hat daher einen Austausch von Alkali und einen Austausch von Calcium zur Folge, der Calciumgehalt der Bodenlösung steigt an. Diese Calciummenge bleibt aber nicht der Ackerkrume erhalten, sie gelangt durch Auswaschung auch in tiefere Bodenschichten und verteilt sich somit auf eine größere Bodenmasse, sie geht daher praktisch der Ackerkrume verloren. Jede Düngung mit Alkalisalzen bedeutet für den Boden einen Verlust an Kalk.

Diese Ansicht steht nicht mit dem in Widerspruch, was oben über die Auswaschung gesagt wurde. Es ist oben ein Unterschied, ob man den Boden mit einem wasserunlöslichen Stoffe düngt oder ob man einen wasserlöslichen Stoff zuführt bzw. mobilisiert. Im ersten Falle düngt man im wesentlichen nur die Ackerkrume bis zur Tiefe der Pflanzschale, im zweiten Falle eine fast unbegrenzte Bodenschicht.

Ich untersuchte zwei Böden, die im wässrigen Auszug (1 : 2) die hohen Chlorgehalte von 284 und 248 mg/l hatten — wohl eine Folge von Überdüngung mit Kaliumselen — auf Calcium und fand 685 und 448 mgCaCl, fast soviel Calcium, wie in austauschfähiger Form im Boden enthalten war. Böden mit geringem Chlorgehalt hatten dagegen höchstens 44 mg CaO.

Der Kalkentzug kann noch bedeutend stärker sein, wenn mit physiologisch sauren Düngemitteln gedüngt wird. Im Ammoniumsulfat z. B. verwertet die Pflanze im allgemeinen nur den Stickstoff, und der Schwefelsäurerest bleibt zurück. Dieser verbindet sich mit Calcium aus dem austauschfähigen Basenvorrat und führt so zu einer Entzehrung des Bodencalcium in Form von Chlorid oder Sulfat geht dann leicht durch Auswaschung der Ackerkrume verloren. Deshalb brauchen Versuche, die nur eine Vegetationszeit dauern, noch keine deutliche Acklerung zu ergeben, im Laufe der Jahre wird der Boden durch physiologisch saure Düngung doch beträchtlich entleert.

Es ist ganz interessant, sich einmal die Kalkgaben zu berechnen, welche in den Handelsdüngemitteln dem Boden zugeführt bzw. bei saurer Düngung verlorengehen.

Tabelle 4

Kalkzufuhr (+) resp. Kalkentzug (—) durch eine Düngung von	kg CaO/ha
Ammonsulfat entspr. 40 kg N/ha	— 80
Kalkammoniumsulfat 10 entspr. 40 kg N/ha	+ 40
Kalksalpeter entspr. 40 kg N/ha	+ 80
Thomasmehl entspr. 40 kg P ₂ O ₅ /ha	+ 110
Superphosphat entspr. 40 kg P ₂ O ₅ /ha	+ 10
Salpatri entspr. 100 kg K ₂ O/ha	(— 80)
Nitrophoska	0

Die Zahlen von Tab. 4 wurden unter der Voraussetzung berechnet, daß das Düngemittel zu 100% ausgenutzt wird. Für die Ausnutzung lassen sich bekanntlich keine allgemeingültigen Zahlen geben, sie hängt vor allem vom Nährstoffvorrat des Bodens ab. Da aber eine hundertprozentige Ausnutzung kaum vorkommt, erhalten wir so nur Höchstwerte. Würde etwa von einer Kalksalpeterdüngung ein Viertel verlorengehen und nur drei Viertel von der Pflanze ausgenutzt werden, so wäre die angegebene Zahl mit 0,75 zu multiplizieren. Auch diese Rechnung ist noch nicht ganz richtig. Bei unvollständiger Ausnutzung würde bei Calciumsalzen außerdem noch ein Gewinn an Calcium infolge Basenaustauschs, bei Kaliumsalzen ein Verlust an Kalk eintreten. Die Zahlen können uns daher wie alle derartigen Rechnungen nur eine rohe Orientierung ermöglichen.

Zu diesen Verlusten kommen evtl. noch die Kalkmengen, die durch Basenaustausch physiologisch indifferenten Düngesalze verlorengehen können. Nimmt man nur an, daß 10% dieser Salze einen Calciumaustausch bewirken, so würde eine Gabe von Kalinitrathexahydrat, die 80% KCl und den Rest als Natriumchlorid und Magnesiumsulfat enthält, pro 100 kg K₂O außer obigen 60 kg noch einen Kalkentzug von 35 kg verursachen.

Es ist darum erklärlich, daß mit der Gefahr der Bodenversauerung von dem Augenblick an zu rechnen war, als man künstliche Düngemittel anzuwenden gelernt hatte, und daß dann die Bodenäufrfrage von so akuter geworden ist, je mehr sich die Anwendung künstlicher Düngemittel bei uns eingebürgert hat. Heute stehen uns aber genügend kalkreiche

Düngemittel zur Verfügung, so daß wir auch ohne besondere Kalkzufuhren Gleichgewicht in der Kalkbilanz herstellen können.

Außer den wasserlöslichen Basen und den austauschfähigen Basen enthält der Boden meistens noch säurelösliche Basen, das sind Basen, die nur durch längeres Behandeln mit starken Säuren in Lösung gehen. Es ist anzunehmen, daß diese Basen den Pflanzen nicht unmittelbar zur Verfügung stehen, sondern erst im Laufe von Jahrzehnten durch Verwitterung in austauschfähige Form übergehen und den Pflanzen so zugänglich werden. Die säurelöslichen Basen stellen eine Kapitalreserve des Bodens dar, die festgelegt ist und nur in Form von Zinsen zur Bodenfruchtbarkeit beiträgt.

Die Zusammensetzung des säurelöslichen Basenanteils ist nun ganz andere als die Zusammensetzung des austauschfähigen Basenanteils. Hissink (1) fand, daß bei holländischen Tonböden die säurelöslichen Basen nur zu 9% aus Kalk bestehen, 68% sind Magnesium, 17% Kalium, der Rest Natrium. Unter den säurelöslichen Basen tritt also der Kalk stark zurück und macht nur einen geringen Bruchteil aus, während bei den austauschfähigen Basen etwa 80% aus Kalk bestehen. Man kann auch berechnen, wieviel sich vom Totalkalk in austauschfähiger Form im Boden findet; bei den holländischen Tonböden ergeben sich so 77%, bei den humushaltigen Sandböden 69%, während vom Totalkali nur 3% austauschfähig sind. Maiwald (3) erhielt etwas andere Werte; bei schlesischen carbonatreifen Böden lagen 21—83%, im Mittel 49% des Gesamtkalkes in austauschfähiger Form vor. Bei ostpreussischen Böden waren sogar 20—100% des Totalkalkes austauschfähig (4).

Diese Erkenntnis ist außerordentlich wichtig. Der säurelösliche Kalkvorrat wird kaum in der Lage sein, den austauschfähigen Kalkvorrat zu ergänzen, falls dieser sich infolge Anreicherung oder Entnahme des Kalkes durch die Pflanze verringert. Die Kalkreserven des Bodens sind in anderer Form vorhanden als die Reserven des Kalis und Magnesiums. Der größte Teil des Kalkes ist leicht aufnehmbar, nur wenig schwer aufnehmbar, während beim Kalium der größte Teil gerade in schwer aufnehmbarer Form vorliegt und nur ein kleiner Bruchteil austauschfähig gebunden ist und der Pflanze unmittelbar zur Verfügung steht.

Machen wir uns klar, was das bedeutet. Wir nehmen an, ein Feld werde mit Stickstoff, Phosphorsäure und Kalk gedüngt, nicht jedoch mit Kali, und es werden jährlich die durch die Ernte entzogenen Mengen an Stickstoff, Phosphorsäure und Kalk ersetzt, nur an Kali werde Raubbau getrieben. Die Ernte wird vielleicht, gleiche Witterung vorausgesetzt, zunächst fast konstant bleiben, dann wird ein langsamer Abfall erfolgen, die Menge des austauschfähigen Kalis nimmt ab, sie regeneriert sich jedoch zum Teil wieder aus dem säurefälligen Kali. Die Erntemenge wird nicht bis zum Nullpunkt sinken, sondern sich schließlich auf einem Stand halten, welcher der Kalimenge entspricht, die jährlich aus schwerfälligen Verbindungen aufgeschossen wird.

Ganz anders wirkt ein Kalkentzug. Ein anderer Teil des Feldes werde Stickstoff, Phosphorsäure und Kalk gedüngt, nur der Kalk werde nicht ersetzt. Es wird sich hier einige Jahre vielleicht überhaupt kein Mangel bemerkbar machen. Das kann man daraus schließen, daß eine Kalkung auf vielen Böden überhaupt keine Ertragsteigerungen zur Folge hat. Aus dem säurefälligen Basenanteil kann nichts nachgeliefert werden. Der austauschfähige Kalkvorrat wird immer mehr aufgebraucht, schließlich wird nach einigen Jahren ein gewisser Ertragungsgrad erreicht. Jetzt wird der Ertrag plötzlich stärker sinken, eine Kalkung hat dann eine große Wirkung auf den Ertrag. Ein Kalkentzug macht sich zunächst nicht bemerkbar, wirkt dann aber um so katastrophaler.

Am Hand der Tabellen kann man berechnen, daß in den meisten Fällen gar nicht so sehr viel Jahresernten nötig sind, um einen gesunden Boden zu versauern. Es ist darum dringende Pflicht, mit dem Kalkreserven des Bodens pfleglich umzugehen und keinen Raubbau zu treiben.

Hierzu kommt noch folgendes: Ich sollte bei meinen bisherigen Betrachtungen voraus, daß der Boden in dem ganzen Schlag, aus dem die Probe stammt, gleichmäßig zusammengesetzt sei. Das ist natürlich eine Fiktion. In Wirklichkeit variiert die chemische Zusammensetzung des Bodens innerhalb des Schlages, und es sind häufig Fälle beobachtet worden, wo die Bodensäuretitrität nicht konstant ist. Das hat zur Folge, daß die eine Stelle früher versauert als die andere; der Ertragsrückgang bei demselben Kalkentzug braucht daher nicht ganz so plötzlich einzutreten, wie ich oben ausführte. Die Böden, deren Sättigungsgrad ich bestimmt, waren nun

Durchschnittsproblem aus größeren Schlägen, und wo ich einen Sättigungsgrad von 0,6 feststellte, hatte vielleicht der natürliche Boden stellenweise einen Sättigungsgrad 0,80, stellenweise vielleicht 0,70. Bei weiterem Kalkentzug werden erst einmal an den äussersten Stellen Schädigungen auftreten, während die alkalischen Stellen noch normale Erträge hervorbringen. Dies ist ein weiterer Grund, der uns warnt, mit den Kalkreserven des Bodens Hanthou zu treiben.

Die bisherigen Betrachtungen zusammenfassend läßt sich folgendes sagen: Kalk ist im Boden vorhanden 1. als wasserlösliches Salz, 2. in austauschfähiger Form, 3. in säurelöslicher Form. Wasserlösliche Kalksalze sind in recht ansehnlicher Menge zugegen, so daß die Pflanze kaum je Mangel an Nährstoff Calcium leiden wird. Die Lösung steht mit den festen Kalkverbindungen im Gleichgewicht. Die Kalkmengen, die die Pflanze der Bodenlösung entnimmt, werden sofort wieder aus den festen Kalkverbindungen heraus ergänzt; als eigentliche Kalkreserven sind die wasserlöslichen Calciumsalze nicht anzusprechen. Säurelösliche Kalkverbindungen sind in unseren Böden sehr schwach vertreten und spielen infolgedessen als Kalkreserven eine untergeordnete Rolle. Als Kalkreserven sind außer kohlensaurem Kalk vor allem die austauschfähigen Kalkverbindungen in Betracht zu ziehen. Pflanzens physiologisch kommt es nicht auf den absoluten, sondern mehr auf den relativen Kalkgehalt an; von bestimmten Enfrassungsgraden an treten Pflanzenschädigungen ein. Die Reserven, die uns von diesem kritischen Kalkgehalt trennen, sind bei vielen Böden recht geringfügig.

In der Kalkbilanz ist als Einnahme zu buchen die Kalkzufuhr durch Düngemittel, als Ausgabe der Entzug durch die Pflanze, der Entzug bei physiologisch saurer Düngung, der Entzug bei physiologisch indifferentester Düngung durch Basenaustausch und Auswaschung. Werden keine kalkschonenden Düngemittel benutzt, so ist eine Kalkverarmung durch Auswaschung meines Erachtens wenig zu befürchten. Das nötige Gleichgewicht in der Kalkbilanz wird nur erzielt, wenn kalkreiche Düngemittel verwendet werden. Andernfalls ist es nötig, die Kalkverluste durch regelmäßige Kalkungen zu kompensieren.

Gewiß hat sich in den letzten Jahren die Erkenntnis von der Bedeutung der Kalkung mächtig Bahn gebrochen. Es ist aber in der landwirtschaftlichen Praxis zum Teil noch die

Ansicht verbreitet, der Kalk sei ein Mittel, um gewisse kranke Böden zu heilen, der Nährstoff Kalk sei aber bei den übrigen Böden in genügender Menge vorhanden. Aber warum lassen wir unsere Äcker erst krank werden, warum ergreifen wir nicht rechtzeitig Maßnahmen, um den Acker gesund und leistungsfähig zu erhalten? Es muß immer wieder betont werden, daß der Kalk für die Pflanze ebenso unentbehrlich ist wie Stickstoff, Phosphorsäure und Kali. Ein Raubbau in bezug auf Kalk ist noch gefährlicher als ein Raubbau in bezug auf die übrigen Nährstoffe. Lösliche Kalkverbindungen sind zwar im Boden vorhanden, aber an schwerlöslichen Kalkreserven herrscht Mangel, und da der Boden einen gewissen Vorrat an leichtlöslichen Kalkverbindungen braucht, ist es unbedingt nötig, die in der Ernte entzogenen Kalkmengen und die durch physiologisch saure Düngung verbrauchten Kalkmengen zu ersetzen. Erstrebenswert wäre es natürlich, wenn allgemein die Landwirtschaft ihre Böden durch wissenschaftliche Institute auf ihren Kalkbedarf untersuchen ließe. Solange aber nur eine kleine Minderheit von Landwirten diese Kontrolle ausüben läßt, muß immer wieder gepredigt werden, daß zu einer Volldüngung auch der Kalk gehört, und auch die Düngemittelindustrie muß dem Rechnung tragen, wenn sie ihren Kunden, die Landwirtschaft, leistungsfähig erhalten will.

Literatur:

1. Hissink, Internationale Mittell. f. Bodenkunde 13, 81 (1932).
2. Hilkowitz, Ztschr. Pflanzenernähr. Düngung, Abt. A., 11, 239 (1936).
3. Maiwald, Kollidchem. Beih. 27, 284 (1932).
4. Schreus, Zur Kenntnis der Bodenacidität (noch nicht erschienen).
5. Ganssen, Ztschr. Pflanzenernähr. Düngung, Abt. A., 4, 227 (1923).
6. Kamann, Miere u. Bauer, Internationale Mitteilungen für Bodenkunde 6, 1 (1919).
7. van Zyl, Journ. Landwirtsch. 64, 304 (1916).
8. Ehrenberg u. van Zyl, Internationale Mittell. f. Bodenkunde 7, 141 (1917).
9. A. D. Hall, The Book of the Rothamsted experiments, S. 237, London 1920, und Hall, The Soil, S. 351, London 1926.
10. Croydt, von Seelhorst u. Wieme, Journ. Landwirtsch. 49, 391 (1901).
11. von Pellizari, Svenska Mönokulturforslagens Tidskrift 1913, S. 178, nach Swen. Ztbl. Agrik.-Chem. 48, 394 (1916).

Über die Bestimmung des Sättigungszustandes des Bodens nach neueren Methoden.

Von Prof. Dr. H. KAPPEL.

Aus dem Institut für Chemie der Landwirtschaftlichen Hochschule Bonn-Poppelsdorf.

Die Bestimmung des Sättigungszustandes des Bodens ist in den letzten Jahren Gegenstand zahlreicher Untersuchungen gewesen. Das ist nicht verwunderlich, wenn man an die weite Verbreitung der Bodenversauerung und an die Tatsache denkt, daß die Bestimmung des Sättigungszustandes ein sehr brauchbares Mittel darstellt, um die Versauerung eines Bodens zu kennzeichnen. Vom Gesichtspunkt der Bodenacidität aus betrachtet, besitzt die Bestimmung des Sättigungszustandes des Bodens ja ihre vornehmste Bedeutung.

Zwei Ermittlungen müssen nun an einem Boden vorgenommen werden, wenn man seinen Sättigungszustand erfassen will. Man muß erstens die Menge der Basen kennenlernen, die sich in austauschbarer Form im Boden befindet, und zweitens muß man die Basenmenge kennen, die vom Boden im Höchstfalle in austauschbarer Form gebunden werden kann. Kennt man diese beiden Größen, so kann man auch den Sättigungszustand des Bodens in treffendster Weise angeben. Nach HISSINK ist nämlich der Sättigungszustand oder das Sättigungsverhältnis ausgedrückt durch die Formel

$$V = 100 S : T.$$

Darin ist S die in Milligrammäquivalenten auf 100 g Boden ausgedrückte Menge an vorhandenen austauschbaren Basen, T die in gleicher Weise ausgedrückte Basenmenge, die der Boden bis zur Höchtsättigung aufnehmen vermag.

Über die Methoden, die man zur Bestimmung von S und T anwenden kann, soll hier nur kurz berichtet werden.

Die Bestimmung von S.

Die älteste und die zurzeit wohl am meisten angewendete Methode zur Bestimmung von S ist die von Hissink ausgearbeitete. Sie benutzt bekanntlich zur Verdrängung der im Boden enthaltenen Basen die Behandlung des Bodens mit einer Natriumchloridlösung. Diese Methode ist nicht nur auf saure, sondern auch auf alkalisch reagierende Böden anwendbar und, was wichtig ist, auch auf solche Böden, die kohlensauren Kalk enthalten, denn beim Anslaugen des Bodens mit dem zweiten Liter Kochsalzlösung erfährt man ja den Kalk, der als Carbonat in Lösung gegangen ist; man zieht ihn von dem mit dem ersten Liter Kochsalzlösung ausgelangten Kalk ab, um den reinen austauschbaren Kalk zu finden.

Dieser Methode von Hissink hat sich Gehring bei der von ihm ausgearbeiteten Methode zur Bestimmung der austauschbaren Basen voll angeschlossen. Von anderen Seiten wird aber auch zur Bestimmung der austauschbaren Basen in anderer Weise verfahren.

So hat Kelley eine Methode ausgearbeitet, bei der zur Verdrängung der austauschbaren Basen Ammoniumchlorid Verwendung findet. Es wird bei dieser Methode nicht die Menge des durch das Ammonium erweiterten Kalkee bestimmt, sondern die Menge des Ammoniums, die vom Boden im Austausch gegen seine Kationen festgehalten wird. Diese Methode ist daher umfassender als die von Hissink, selbst wenn man nach Hissink nicht allein den Kalk, sondern auch die Magnesia bestimmt. Durch die Ammoniumsalzbehandlung wird ja außer dem austauschbaren Kalk und der Magnesia auch das austauschbare Kalium und Natrium bestimmt, und wenn die Menge, die von diesen Basen im Boden in austauschbarer Form vorhanden ist, auch nicht sonderlich groß ist, so sollte man doch erwarten, daß die Werte, die nach der Methode von Kelley erhalten werden, stets die nach Hissink erhaltenen Werte für die austauschbaren Basen übersteigen. In Wirklichkeit ist das aber nach unseren zusammen mit Arany durchgeführten Versuchen nicht der Fall. Die Methode nach Kelley gibt bei neutralen und schwach sauren Böden niedrigere Zahlen als die nach Hissink, und das hängt wohl damit zusammen, daß wir in den Salzen des Ammoniums mit starken Säuren hydrolytisch gesplittene Salze vor uns haben. In den Lösungen der Ammoniumsalze befindet sich daher neben dem Ammonium-

ion auch immer das Wasserstoffion, und da diesem Ion bekanntlich ein großer Austauschvermögen in die zeolithischen Silicate und die Humate des Bodens zukommt, wozuf besonders eindringlich die Arbeiten von Wiegner und Jenny hinweisen, so kommt es bei der Behandlung eines Bodens mit Ammoniumsalzen stets auch zu einem Austausch von Wasserstoffionen neben dem der Ammoniumkationen. Es kann daher auch die Menge der aufgesammelten Ammoniumionen nicht als volles Maß für die Menge der austauschbaren Kationen im Absorptionskomplex dienen. Offenbar handelt es sich hier um dieselbe Erscheinung, die von Jenny bei Untersuchungen an Permutit als das „Ammonium-Paradoxon“ bezeichnet worden ist.

Außer Natrium- und Ammoniumsalzen sind nun zur Verdrängung der austauschbaren Basen auch noch andere Salzlösungen benutzt worden. So verwenden Bobko und Askinnai das Bariumchlorid zu diesem Zweck. Auch diese Autoren verfahren dann geradezu wie Kelley, indem sie nämlich nicht die verdrängten Basen, sondern die Menge des an ihrer Stelle vom Boden aufgenommenen Bariums bestimmen.

Von Gedroiz schließlich wurde zur Bestimmung von S die Auslaugung des Bodens mit Salzsäure benutzt; in dem dabei erhaltenen Filtrat wurden das Calcium und Magnesium ermittelt. Diese Methode rechnet natürlich damit, daß die in einer schwachen Salzsäurelösung weichen Basen ausschließlich oder so gut wie ausschließlich solche sind, die in dem Absorptionskomplex des Bodens stecken, eine Annahme, die tatsächlich auch ziemlich weitgehend zutrifft.

Die genannten Methoden, die alle Auslaugungsmethoden sind, müßten nun, wenn eine restlose Verdrängung der absorbierten Basen des Bodens durch sie stattfände, zu denselben Ergebnissen führen. Im großen und ganzen ist das bei diesen Methoden auch der Fall, solange es sich um neutrale und wenig versauerte Böden handelt. Bei den stärker sauren, nämlich den austauschsauren Böden, können aber diese verschiedenen Methoden nicht mehr zu denselben Ergebnissen führen, und zwar deshalb nicht, weil sie teilweise auch den austauschbaren Wasserstoff und die austauschbaren Aluminiumionen miteinlassen.

Das ist der Fall bei der Methode von Kelley und der Bariumchloridmethode von Askinnai. Bei beiden Methoden wird auch durch das Ammonium- oder Bariumion ein Teil

den im Boden enthaltenen Säurewasserstoffe verdrängt neben dem in ihm enthaltenen Calcium und Magnesium. Das Ammonium oder das Barium, das man nach der Auslaugung im Boden vorfindet, entspricht also nicht nur den verdrängten Basen, sondern auch einem Teil des verdrängbaren Wasserstoffs. Hissinkes S-Wert aber soll nur die verdrängten Basen, nicht jedoch den Säurewasserstoff angeben, und deshalb sind die Werte, die nach allen Methoden gefunden werden, durch die man die bei der Auslaugung vom Boden aus der Salzlösung aufgenommenen Basen ermittelt, nur dann mit den nach den direkten Methoden bestimmten Werten vergleichbar, wenn austauschbarer Säurewasserstoff im Boden gar nicht vorhanden ist. Bei allen austauschbaren Böden bekommt man also nach dem indirekten Methoden, wie wir die nennen wollen, bei denen das vom Absorptionskomplex aufgenommene Kation ermittelt wird, Werte, die, mit den nach den anderen, direkten Methoden ermittelten Werten verglichen, stets zu hoch sind. Für die Bestimmung von S muß man sich also einer der direkten Methoden bedienen.

Diese direkten Methoden besitzen aber auch, wie schon mehrfach hervorgehoben ist, einen großen Mangel, nämlich den, daß ihre Anwendung soviel Zeit und Arbeit beansprucht. Das Auslaugen des Bodens mit den Salzlösungen, die analytische Bestimmung der durch die Salzlösung verdrängten Ionen machen diese Methoden so zeitraubend und umständlich, daß man, wenn die Bestimmung des S-Wertes überhaupt eine allgemeinere praktische Bedeutung erlangen soll, unbedingt nach einfacheren Methoden Umschau halten mußte.

Wir glauben nun, die gestellte Aufgabe dadurch zu einer Lösung gebracht zu haben, daß wir eine einfache Ausschüttung des Bodens mit einer n/a-Salzsäure vornehmen und den unverbrauchten Rest der Säure zurücktitrieren. Eine ganze Anzahl von Prüfungen an verschiedenartigen Böden hat uns gezeigt, daß diese einfache Methode zu Werten führt, die mit den nach der Methode von Hissink erhaltenen gut übereinstimmen. Für alle neutralen und sauren Böden glauben wir diese einfache Methode bestens empfehlen zu dürfen. Für Böden mit kohlensauren Kalk ist sie natürlich nicht direkt verwendbar, sondern nur dann, wenn man auch den Kalkgehalt bestimmt und ihn von den austauschbaren Basen abzieht.

Daß diese einfache Salzsäurebehandlung des Bodens gerade die austauschbaren Basen erfasst und die nicht zum

kolloiden Absorptionskomplex des Bodens gehörenden Basen in der Hauptsache unangegriffen läßt, hängt damit zusammen, daß bei der Einwirkung einer Säurelösung auf den Boden sehr schnell eine Schwächung der Säureeigenschaften der Lösung stattfindet. Jede im Überschuß auf den Boden zur Einwirkung gelangende starke Säure tritt nicht nur im Ionenaustausch mit dem Absorptionskomplex, sondern sie versetzt ihn auch zum Teil, wobei die Säure in das entsprechende Aluminiumsalz übergeht. Durch diese Aluminiumsalzbildung wird eine so starke Abschwächung der Wasserstoffionenkonzentration der übrigebleibenden Säure herbeigeführt, daß sie zu einer stärkeren Zersetzung der noch wenig oder gar nicht verwitterten Bodenbestandteile nicht fähig ist.

Zu der von uns schon vor längerer Zeit vorgeschlagenen, sehr schnellen und auf sehr einfachem Wege zum Ziele führenden Säuremethode sei übrigens noch bemerkt, daß sie vor kurzem in fast der gleichen Form auch von amerikanischen Bodenkundlern empfohlen wird.

Von Amerika ist aber auch in letzter Zeit eine neue und durchaus eigenartige Methode zur Bestimmung der austauschbaren Basen zu uns gekommen, das ist die Methode von Matteson, die auf der Elektrodialyse des Bodens beruht.

Etwas ganz Neues stellt die Elektrodialyse des Bodens zwar in der Bodenkunde nicht dar, denn schon vor Jahren haben König und Hasenbäumer die Elektrodialyse für die Ermittlung der Düngereffektivität des Bodens in Anwendung gebracht; auf die Bestimmung der austauschbaren Basen ist sie aber bislang noch nicht angewendet worden.

Matteson und ebenso Bradfield, der sich auch eingehend mit der Elektrodialyse beschäftigt hat, fanden nun, daß sich ein Boden bei einer etwa 10-stündigen Elektrodialyse in ziemlich demselben Ausmaße von seinen Basen befreien läßt, wie es mit Hilfe der Auswaschmethoden möglich ist. Matteson verglich z. B. seine Methode in ihren Ergebnissen mit der Methode von Kelley und der von Gedroiz, und er stellte dabei eine recht befriedigende Übereinstimmung zwischen allen drei Methoden fest. Viel weniger gut war allerdings die Übereinstimmung bei neueren Versuchen von Benjamin D. Wilson.

Wilson elektrodialysierte je 10 g Boden mit einem Strom von 110 Volt und bestimmte in den Dialysaten den Kalk, die

Magnesia und das Kali. Andererseits behandelte er den Boden mit einer α -Ammosiumchloridlösung und bestimmte die ausgetauschten Basen im Extrakt. Teils war die Übereinstimmung zwischen den nach beiden Methoden erhaltenen Werten nicht schlecht, oft aber blieb es die mit der Elektrodialyse freigesetzten Kationenmengen erheblich hinter den durch NH_4Cl ausgetauschten zurück. So betrug die Gesamtmenge an austauschbaren Basen in einem Falle 32,41 Milligramm-Äquivalente auf 100 g Boden bei Anwendung von NH_4Cl , bei Benutzung der Elektrodialyse aber nur 14,25 Äquivalente. Noch andere Beispiele ließen sich dafür auführen, daß die Übereinstimmung oft zu wünschen übrigließ, und daß die Elektrodialyse stets weniger an austauschbaren Basen lieferte als die Auswäsung mit Ammonchlorid.

Diese Untersuchungsergebnisse von Wilson können wir auf Grund unserer eigenen Versuche durchaus bestätigen. Wir verglichen mit der Elektrodialyse die Anrechnung mit Kochsalz nach Hissink und unsere eigene Methode der absoluten Neutralisation. Es zeigten diese Versuche, die in der folgenden Tabelle zusammengestellt sind, daß die Methode der Elektrodialyse tatsächlich zumal bei wesentlich niedrigere Werte für die Menge der austauschbaren Basen liefert als die beiden anderen Methoden. Es zeigen diese Versuche aber auch wieder, was schon früher von uns dargelegt worden ist, daß die Hissink'sche Methode bei Bestimmung des ausgetauschten Calciums und Magnesiums Werte liefert, die mit den von uns nach der Schnellmethode der absoluten Neutralisation erhaltenen gut übereinstimmen.

Austauschfähige Basen in Milligramm-Äquivalenten, auf 100 g Boden bezogen.

Boden	nach Hissink	nach Kappen- Hilkröth	nach Matson und Bradfield
1	14,8 und 14,8	15,0 und 15,0	15,8 und —
2	9,9 „ 10,3	9,8 „ 9,8	7,8 „ 8,1
3	4,6 „ 4,5	4,1 „ 4,1	1,4 „ 1,7
4	6,4 „ 6,4	6,6 „ 6,6	4,4 „ 3,9
5	4,6 „ —	4,7 „ 4,7	4,3 „ 4,0
6	3,0 „ 3,5	4,9 „ 3,9	3,0 „ —
7	7,6 „ 7,6	6,4 „ 6,5	6,4 „ 6,7
8	6,6 „ 6,2	6,8 „ 6,8	4,9 „ —
9	3,5 „ 3,4	3,3 „ 3,5	3,1 „ —
10	7,2 „ 7,3	7,6 „ 7,7	6,1 „ 6,0

Für die Zwecke der praktischen Bodenkunde scheint somit der Methode der elektrodialytischen Bestimmung der austauschbaren Basen kein besonderer Vorteil zukommen. Wenn man die Zeit der Elektrodialyse erheblich über die von Mattson als ausreichend angegebene ausdehnt, so wird es ja wohl gelingen, schließlich die Gesamtmenge der austauschbaren Basen aus dem Boden herauszuholen, aber wenn man dazu 20 oder 30 Stunden lang die Elektrodialyse in Betrieb halten muß, so wird die Methode so unpraktisch, daß sie vor den Auslaugemethoden keinerlei Vorteil mehr bietet und mit diesen zugleich so weit hinter der Methode der absoluten Neutralisation zurücksteht, daß es kaum fraglich erscheinen kann, welcher Methode die Zukunft gehören wird.

Trotz der geringen Erwartungen, die wir an die Methode der elektrodialytischen Bestimmung der austauschbaren Basen glauben knüpfen zu sollen, haben wir uns aber doch noch etwas eingehender mit ihr beschäftigt, weil sie uns dazu geeignet erschien, in eine Frage Licht hineinzutragen, die bisher infolge ihrer schwierigen experimentellen Angriffbarkeit der endgültigen Klärung starken Widerstand entgegengesetzt hatte. Die Frage, die ich meine, ist die der Beteiligung der Wasserstoffionen an dem Ionenaustausch der zeolithischen Silicate und der Humate und damit an der Errechnung der Bodenacidität.

Es ist bekannt, daß hier die Streitfrage bestand, ob die Erscheinung der Austauschacidität als ein Austausch von Aluminiumionen oder als ein Austausch von Wasserstoffionen gegen die Kationen des einwirkenden Neutralalkalis zu deuten sei. Von vielen Bodenkundlern war in dieser Frage schon immer die Meinung vertreten worden, daß es sich um einen Austausch von Wasserstoffionen handele, und daß die Aluminiumionen erst sekundär dabei auftritten, während von mir und manchen anderen im Anschluß an die Auffassung von Daikuhara die direkte Austauschbarkeit von Aluminiumionen angenommen wurde.

Die Möglichkeit einer direkten Beteiligung der Aluminiumionen an den Austauschbeziehungen sowohl bei Böden als auch bei Silicaten und Humaten war durch eine Anzahl von experimentellen Untersuchungen schon seit Jahren über jeden Zweifel erhaben, während für die direkte Beteiligung der Wasserstoffionen ein experimenteller Beweis niemals erbracht worden war. Der experimentellen Beweisführung für das Statt-

finden eines Austausches von Wasserstoffionen aus den austauschbaren Stoffen stelle sich eben eine sehr große Schwierigkeit entgegen, die darin bestand, daß alle Methoden, die zur Herstellung austauschbarer Stoffe führten, es stets unentschieden ließen, ob bei ihnen das Wasserstoffion oder das Aluminiumion wirksam gewesen war. Behandelt man nämlich zum Zwecke der Erzeugung der Austauschacidität irgendein dazu geeignetes Material mit einer Säure, so bildet sich stets auch das Aluminiumsulfat dieser Säure, so daß jede Säurebehandlung eines Bodens oder eines geeigneten Aluminiumsilicates letzten Endes nichts anderes ist als eine Behandlung mit Aluminiumsulfat. In diesem liegt aber die Konzentration an Wasserstoffionen der an Aluminiumionen stets stark unterliegen, und es kann daher auch gar nicht bezweifelt werden, daß bei solchen Methoden die Aluminiumionen bei der Erzeugung der Austauschacidität stets bedeutsam im Spiele sind. Man kann daher auch keine Aussage darüber machen, ob die schließlich erzeugte Austauschacidität den Aluminium- oder den Wasserstoffionen zuzuschreiben ist. Erst dann konnte von einem exakten experimentellen Beweise für die Beteiligung der Wasserstoffionen an den Austauschvorgängen der sauren Böden gesprochen werden, wenn es gelang, einen Boden oder ein sonstiges zur Erzeugung der Austauschacidität geeignetes Material in Abwesenheit von Aluminiumionen austauschbarer zu machen.

Zur Lieferung dieses Beweises schien uns nun die Elektrolyse das geeignetste Mittel zu sein. Der Boden oder anderes Material wird ja bei dieser Methode nicht mit einer Säure bearbeitet, es wird vielmehr in der Zelle des Elektrolyseators in reinem Wasser aufgeschwemmt. Man könnte also meinen, daß der Beweis für die Beteiligung der Wasserstoffionen an der Austauschacidität schon längst durch die von Matsson und von Bradfield festgestellte Tatsache geliefert worden sei, daß ein Boden bei der Behandlung im Elektrolyseator eine deutliche Austauschacidität annimmt. In Wirklichkeit aber ist mit dieser leicht zu bestätigenden Tatsache doch der Beweis für die ausschließliche Beteiligung der Wasserstoffionen an der Austauschacidität noch nicht geliefert. Verfolgt man nämlich die Reaktionsänderungen, die sich bei der Elektrolyse in dem Teil des Dialysators einstellen, in dem der Boden sich befindet, so erkennt man, daß sich darin sehr schnell so hohe Aciditäten ausbilden — und

zwar nicht nur in der Suspension, sondern auch in den Filtraten —, daß gar nicht an dem Vorhandensein wesentlicher Mengen von Aluminiumionen in der Zelle gerweifelt werden kann. Ein Versuch, der mit 200 g Boden ausgeführt wurde, die in der Mittelschle des Dialysators durch einen Rührer in dauernder Bewegung gehalten wurden, mag den Grad der Säuerung, der in der Lösung auftritt, etwas genauer darlegen.

Zeit	Kathodenraum	Anodenraum	Mittelschle
	PH	PH	PH
nach 8 Stunden . . .	8,90	8,80	8,88
„ 10 „ . . .	7,62	8,82	8,10
„ 15 „ . . .	6,91	8,92	8,10

Nach 15 Stunden war, wie die neutrale Reaktion an der Kathode anzeigt, die Entsauerung des Bodens beendet. Die Aciditätswerte, die er dabei erlangt hatte, waren die folgenden:

Austauschacidität γ_1 . . .	11,6 cm ³ 0,1 n-NaOH
Hydrolytische Acidität γ_2 . .	31,4 cm ³ 0,1 n-NaOH
PH	4,23

Noch vorhandene austauschbare Basen nach der absoluten Neutralisation = 0,1 Milligrammäquivalente auf 100 g Boden.

Die Entsauerung und Versauerung des ursprünglich neutralen Bodens waren also in diesem Falle einmal recht vollständig geworden, aber dennoch bei der Versuch keine Beweise dafür, daß die Säuerung durch den Eintritt von Wasserstoffionen zustande gekommen war, denn die stark saure Reaktion in der den Boden enthaltenden Mittelschle war mit dem Auftreten großer Mengen von Aluminiumionen verbunden, so daß auch diese Ionen an der Ausbildung der Acidität beteiligt sein konnten.

Die hohen Wasserstoffionenkonzentrationen bei der Elektrodialyse des Bodens hängen nun zusammen mit dem Gehalt des Bodens an Elektrolyten. Bei der Elektrolyse erzeugen diese Elektrolyte stets an der Anode Säure, und wenn man den Wasserstoffionen der auf diese Weise erzeugten Säuren auch nicht die Fähigkeit zum Austausch in den Boden abstreifen kann, so führen sie doch zugleich zur Bildung von Aluminiumionen, und damit ist die Beweisführung für den reinen Wasserstoffionenaustausch der sich schließlich bei der Elektrodialyse ergebenden austauschsauren Böden durchkreuzt. Uns ist es bei der Verwendung von Boden niemals gelungen, das gleichzeitige Auftreten von Aluminiumionen mit den Wasserstoff-

ionen zu verhindern; auch wenn man den Boden von der Anode fern hält und ihn in einer nach den beiden Elektroden hin durch eine Membran abgeschlossenen Mittelszelle des Dialysators belädt, tritt, wie die obenschonenden Zahlen belegen, in der Mittelszelle alsbald eine starke, mit der Bildung von Aluminiumionen verknüpfte Säuerung ein. Somit kann die elektrodialytische Erzeugung der Austauschacidität auch nicht als ein Beweis für die ausschließliche Beteiligung der Wasserstoffionen an dieser Erscheinung betrachtet werden.

Um die Möglichkeit des Wasserstoffionenaustausches als Ursache der Austauschacidität klarzustellen, verließen wir daher den Boden als Versuchsmaterial und benutzten das Material, das uns und anderen bei bodenkundlichen Arbeiten schon oft nützliche Dienste geleistet hat, nämlich Permutit. Hierbei kann man durch gründliches Auswaschen für eine weitgehende Elektrolytfreiheit sorgen, und man kann daher auch beim Permutit die Elektrodialyse so durchführen, daß in der Mittelszelle, in der der Permutit suspendiert ist, stets eine solche Wasserstoffionenkonzentration gewahrt bleibt, daß die Bildung von Aluminiumionen ausgeschlossen ist.

Ein einziger von den vielseitig varierten Versuchen, die wir mit reinem Permutit ausführten, mag den Verlauf einer solchen Elektrodialyse und die dabei in den verschiedenen Zellen des Dialysators auftretenden Wasserstoffionenkonzentrationen etwas näher kennzeichnen.

Versuch von M. Wall mit Natronpermutit.

Zell	Kathodenraum	Anodenraum	Mittelszelle
	pH	pH	pH
10 Stunden	über 9,0	5,05	5,00
50 "	alkalisch	5,55	5,57
80 "	"	4,27	5,85
150 "	"	4,55	6,60
180 "	"	4,80	6,75

Hydrolytische Acidität (3 g mit 100 cm³ Lösung) 10,5 cm³ 0,1 n-NaOH.

Austauschacidität (3 g mit 100 cm³ Lösung) 5,1 cm³ 0,1 n-NaOH.

pH-Wert 5,55.

Molekularverhältnisse: $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3 : \text{Na}_2\text{O} = 3,5 : 1 : 0,55$.

Es war also bei diesem Versuch gelungen, dem Permutit deutliche hydrolytische und Austauschacidität zu verleihen und seinen pH-Wert von über 9 auf 5,05 herabzudrücken. Diese Versäuerung des Permutits war aber nun ausnahmslos gekommen, ohne daß in der Mittelszelle ein pH-Wert aufgetreten wäre, der die Bildung von Aluminiumionen zugelassen hätte.

Bekannt ist ja, daß die Existenz dieser Ionen an eine bestimmte Wasserstoffionenkonzentration gebunden ist, und daß diese unter $\text{pH } 5.5$ liegen muß. Die Säuerung des Permutits war hier also auf jeden Fall ohne Beteiligung von Aluminiumionen zustande gekommen, und damit war zum ersten Male der experimentelle Beweis dafür erbracht, daß diese Säuerung auf dem Eintritt und Austausch von Wasserstoffionen beruhen mußte.

Da nun die Flüssigkeit in der Mittelzelle als kleinsten pH -Wert einen solchen von 4,76, also einen noch nicht am Neutralpunkt liegenden Wert besaß, so kann weiterhin kein anderer Schluß gezogen werden als der, daß in unserem Falle allein die Wasserstoffionen des Wassers an dem Basenaufbau und der Versauerung des Permutits beteiligt gewesen waren. Die Elektrodialyse war nichts anderes gewesen als eine durch die elektrolytische Basenaufuhr verstärkte hydrolytische Aufspaltung des Permutits. Bei der Abspaltung der Kationen in der Form der entsprechenden Hydroxyde wird das Wasserstoffion des Wassers in dem starren Silicatgerüst festgehalten und dort in der Form der wenig dissoziierten Permutitsäure verankert. Möglich ist es aber auch, den Vorgang noch etwas anders aufzufassen, nämlich als einen regelrechten Austauschvorgang zwischen den Ionen des Wassers und den Ionen des Permutits. Die Wasserstoffionen des Wassers tauschen gegen die Kationen des Permutits in den Permutit ein, wobei dann die verdrängten Kationen mit den OH -Ionen des Wassers die Hydroxyde liefern. Bei dem von Wiegner-Jenny festgestellten außerordentlich großen Eintauchvermögen der Wasserstoffionen ist diese Auffassung des Vorganges durchaus gestattet. Die hydrolytische Aufspaltung kolloider Silicate würde dann eben unter die Umtauschvorgänge zu rechnen sein.

Auf jeden Fall — und mit dieser Feststellung wollen wir hier diesen Gegenstand verlassen — müssen wir unsere früher gehegten Zweifel an der Teilnahme der Wasserstoffionen am Ionenaustausch der sauren Böden nach dem Befinden unserer Versuche aufgeben. Die Versauerung der Böden ist in der Hauptsache gleichzusetzen mit der Einlagerung von Wasserstoffionen in die kolloidalen Silicate und die Humate. Da aber die Bodenlösung bei sauren Böden stets eine Aluminiumsättigung ist, müssen auch Aluminiumionen im Eintauchgleichgewicht mit dem Kolloidkomplex des Bodens

stehen, und es müssen, wenn auch dem Ausmaße nach nur untergeordnet, doch die Aluminationen einen gewissen Anteil an der Austauschbarkeit der Böden besitzen. Diese Deutung der Säureerscheinungen bei den Böden war zwar bisher schon unter den Fachgenossen weit verbreitet, aber ein experimenteller Beweis dafür war noch nicht geliefert worden. Die Lücke glauben wir nun angefüllt zu haben, und wir glauben, daß diese Auffüllung sehr notwendig war, denn theoretisch braucht sich die Sache gar nicht so zu verhalten, wie sie sich nach unseren Versuchen nun wirklich verhält. Ein Ersatz der Kationen der Silicate durch Wasserstoffionen gelingt nämlich nach allen unseren Versuchen ausschließlich bei den zeolithischen Silicaten. Bei einfacher gebauten Silicaten, wie bei Natron-, Kali- und Kalkeilicaten, führen weder der Abbau mit Säuren noch die Elektrodialyse zu austauschbaren Stoffen. Das liegt nach unserer Meinung daran, daß die beim Austritt der Basen intermediär entstehenden freien einfachen Kieselsäuren sehr schnell unter Wasserverlust in das Anhydrid übergehen und damit ihre Säureeigenschaften einbüßen. Die Verbindung der Kieselsäure mit der Tonerde in den zeolithischen Silicaten verhindert dagegen diese Anhydrierung der Kieselsäure; es bleiben daher beim Abbau der Basen aus solchen Silicaten die wirklichen Säuren übrig. Hierin, in der Verhinderung der Anhydrierung der Kieselsäure glauben wir die besondere Rolle erkennen zu sollen, die, wie besonders von Gausson hervorgehoben worden ist, der Tonerde in der Zusammensetzung der zum Basenaustausch befähigten Silicate zukommt. Würde sich diese Anhydrierung auf irgendeinem Wege bei der reinen Kieselsäure verhindern lassen, so würden wir auch bei ihr wohl ebenso deutliche Säurewirkungen antreffen wie bei der Aluminiumkieselsäure, der Permethylsäure oder der Zeolithsäure. Die allerdings nur sehr schwierig herstellbaren echten Kieselsäuren, wie sie von Schwarz und von Willstätter erhalten worden sind, müßten einmal auf ihre Säureeigenschaften genau untersucht werden, sicherlich würde diese Untersuchung unsere Kenntnisse in sehr wünschenswerter Weise vervollkommen.

Für die Bestimmung des Wertes S nach Hissink, von der unsere Betrachtungen über die Elektrodialyse ansgesgangen

waren, gibt es also eine Reihe durchaus brauchbarer Methoden, und die einfachste und kürzeste darunter scheint die von uns ausgearbeitete Methode der absoluten Neutralisation zu sein. Viel weniger günstig liegen die Dinge nun aber für die Bestimmung des Wertes T nach Hissink, den man kennen muß, wenn man das Sättigungsverhältnis $V = 100 S : T$ erfassen will.

Bestimmung von T über die von $T-S$.

Um den Wert T zu bestimmen, muß man den Boden mit Basen abtätigen, aber gerade dieser Abtätigungsvorgang ist es, der Sorgen macht. Man weiß nicht, wie weit man die Abtätigung des Bodens mit Basen treiben soll. Hissink sättigt mit einer Lösung von Barytwasser bei pH -Werten, die über 10 liegen, und er erreicht damit eine so starke Beladung des Bodens mit Basen, daß von Sigmund bereits davon ausginge, daß sie nirgends in der Natur angetroffen würde.

Als viel richtiger muß daher die Basensättigung des Bodens nach der Methode von Gehring eingeschätzt werden. Mit Kutachinsky konnten wir nachweisen, daß bei ihr die Sättigung bei einem pH -Wert erfolgt, der nahe bei 8,5 liegt, und das ist gerade der pH -Wert, den man unter natürlichen Verhältnissen als den höchsten antrifft, bei dem also auch für die Verhältnisse in der Natur die Höchstsättigung mit Basen vorhanden ist. Verschiedene Untersuchungen der letzten Zeit haben denn auch bei einem Vergleich der Methoden von Hissink und der von Gehring dargetan, daß die Böden nach der Methode von Hissink viel weniger gesättigt erscheinen als nach Gehring.

Wenn nun aber auch sicher der Methode von Gehring vor der Hissink'schen Methode der Vorzug zu geben ist, so haftet doch beiden gemeinsam der Nachteil an, daß sie langwierige Auswaschungsmethoden sind und dazu auch noch analytische Bestimmungen von Kalk und Magnesia erforderlich machen. Oft erfährt man erst nach einer ganzen Reihe von Tagen das Ergebnis der Untersuchungen nach diesen Methoden. Von uns ist daher vorgeschlagen worden, die Bestimmung der hydrolytischen Acidität zur Ermittlung des Sättigungsgrades der Böden anzunehmen.

Bevor darauf näher eingegangen wird, mag aber noch auf eine Methode zur Bestimmung von $T-S$ hingewiesen werden, die von Mitsum Harada ausgearbeitet wurde. Sie besteht darin, daß die Sättigung des Bodens mit Kalk so ver-

als ob unsere Methode, bei der nur eine einstufige Ausschüttung des Bodens mit der Acetatlösung vorzunehmen ist, noch etwas einfacher sei als die Methode von Rohde. Daß natürlich die Methode von Rohde geradezu wie die unrigore der gewöhnlichen Bestimmung des Wertes S bedarf, wenn man den Sättigungsstand des Bodens ermitteln will, ist klar. Falsch ist es daher auch, wenn Rohde seine Methode als Methode zur Bestimmung des Sättigungsstandes des Bodens bezeichnet. Sie ist in Wirklichkeit nur eine Methode zur Bestimmung des Wertes $T-S$, also des Säurewasserstoffs des Bodens bis zum pH -Wert von ungefähr 5,5, und erst durch Vereinigung mit einer Methode zur Bestimmung von S kann sie zu einer Methode zur Bestimmung des Sättigungsstandes werden. In Verbindung mit unserer Methode der absoluten Neutralisation für die Bestimmung von S wird die Methode von Rohde sicherlich für den Sättigungsgrad ziemlich zu denselben Werten führen, die wir nach unserer Methode erhalten und die Gehring nach seiner Auswaschmethode erzielt.

Abschließend läßt sich somit feststellen, daß wir zurzeit bereits über eine ausreichende Anzahl von Methoden zur Bestimmung des Sättigungsstandes des Bodens verfügen. Leider scheint die Methode von Hissink, der als erster unter den Bodenkundlern die Bedeutung der Bestimmung des Sättigungsstandes des Bodens erkannt und diesen Zustand am treffendsten gekennzeichnet hat, die geringste Aussicht auf allgemeine Anwendung zu besitzen. Von den anderen Methoden wird die von Gehring wohl als die exakteste gewertet werden müssen, aber es erscheint zweifelhaft, ob sie sich bei ihrer schon von verschiedenen Seiten betonten Unhandlichkeit und Umständlichkeit in größerem Umfange in der Praxis der Bodenuntersuchungen wird einbürgern können. Wahrscheinlich wird einer der auf der Bestimmung der hydrolytischen Acidität aufgebauten Methoden selbst dann die Zukunft gehören, wenn sie auch ein wenig in der Genauigkeit hinter den Auswaschmethoden zurückstehen sollte. Wünschenswert wäre es, wenn in möglichst großem Umfange Vergleichsversuche mit den verschiedenen Methoden durchgeführt würden, damit man ihre Stärken und Schwächen bald genauer kennen lernt und sich dann auf eine einzige Methode einigen kann.

Stickstoffanalyse und das Problem der mineralischen Bodenacidität.

Von Privatdozent Dr. M. TERNER.

Aus der Pr. Geol.-Landesanstalt Berlin.

Darüber, daß die Bodenacidität genetisch mit der Entkalkung des Bodens zusammenhängt, kann kein Zweifel sein. Unstritten ist lediglich der Chemismus der Einwirkung von Neutralsalzen auf den entkalkten Boden. Die Mehrzahl der Bodenkundler nimmt an, daß die Basen eines Bodens bei seiner Entkalkung durch Wasserstoffionen ersetzt werden, und daß diese Wasserstoffionen direkt gegen das Kalium des Kaliumchlorids ausgetauscht werden, so daß im KCl-Auszug Salzsäure titrierbar werden kann. Der Vorgang wird von ihnen häufig durch folgendes Schema dargestellt: $H\text{-Ton} + KCl \rightleftharpoons K\text{-Ton} + HCl$. Die Tatsache, daß im KCl-Filtrat des „austauschsauren“ Bodens Aluminiumhydroxyd bei der Titration ausfällt, wird durch die Annahme erklärt, daß die durch Austausch primär entstandene Salzsäure sekundär aus dem Boden Aluminium auflöst.

In einer früheren Arbeit¹⁾ habe ich gezeigt, daß ein durch Kohlensäurehaltiges Wasser bis auf 0,1 Mol entkalkter Kaliumpermutit keine Austauschacidität hatte.

Seine schwachsaure Reaktion verschwand völlig nach dem Trocknen bei 150°, war also lediglich durch eingeschlossene CO_2 hervorgerufen. Wurde dieser abgebaute Permutit nun mit Aluminiumchloridlösung behandelt, so absorbierte er 10% der Aluminiumlösung und zeigte nach dieser Behandlung gegen Chlorkaliumlösung Austauschacidität, die durch verdrängtes Aluminiumsulfat hervorgerufen war. Der mit CO_2 abgebaute

¹⁾ M. Ternér, Ztschr. Pflanzenverfähr. Düngung, Abt. A., 3, 121 [1927]. Vgl. auch „Die wissenschaftlichen Grundlagen der Bodenkulturforschung“, P. Paepp, 1927.

Fermuit hatte folgende Zusammensetzung: 3SiO_2 , $1\text{Al}_2\text{O}_3$, 0,2 Basen und sein Wassergehalt war von 8,3% auf 18,9% gestiegen. Der höhere Wassergehalt des anionischen Fermuitts ist schon 1921 von R. Wachs*) in anderer Fragestellung festgestellt worden.

Aus diesen Versuchen folgerte ich: 1. Die fortgeführten Basen werden nicht durch Wasserstoffionen ersetzt; es existieren in den Bodentellchen selbst keine direkt austauschbaren Wasserstoffionen. 2. Die Austauschacidität beruht auf dem Austausch von am „Basen statt“ gebundenem Aluminium, wie es Kappen früher behauptet hatte, auf der Tagung der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft 1929 in Hamburg aber widerrufen hat.

Gegen diese Versuchsanstellung und damit gegen diese Schlussfolgerungen kann mit Recht folgender Einwand erhoben werden: der verwendete Fermuit war nicht völlig entbasen; selbst wenn also Wasserstoffionen direkt ausgetauscht würden, so müßten sie doch sofort von den im Fermuit verbliebenen Basen neutralisiert werden. Gegen die Anwendung von anderen Säuren als CO_2 , die völlige Entbasierung herbeiführen können, erheben sich folgende methodische Bedenken: 1) durch die Einwirkung starker Säuren wird der Fermuit zersetzt, und 2) molekulare Säurereste können aus dem Fermuit nicht völlig ausgewaschen werden.

Nun bietet sich in der Elektrodialyse ein Mittel, den Fermuit seiner Basen zu berauben, gegen das die oben erhobenen Einwendungen nicht gemacht werden können. Ein elektrodialytischer Apparat besteht gewöhnlich aus drei Kammern, die durch zwei Membranen voneinander geteilt sind. In den beiden Außenkammern befinden sich die beiden Elektroden, in die Mittelkammer kommt das zu dialysierende Kolloid. Die Außenkammern sind mit destilliertem Wasser gefüllt, das entweder stromend oder wechselseitig durch Ausgießen erneuert wird. Legt man nun an die Elektroden eine genügend hohe Spannung an, so fließt ein Strom durch das System, dessen Stärke von der Salzkonzentration abhängt. In meinen Versuchen mit Natriumfermuitt schwankten die Stromstärken zwischen 120 mA zu Beginn und 10 mA am Ende des Versuches. Was geschieht beim Stromdurchgang? An den Elektroden wird Wasserstoff und Sauerstoff entwickelt; die

*) Mitt. a. d. Labor. d. Geolog. Landesanst. 1921.

Elektrodialyse unterscheidet sich also von der normalen Dialyse dadurch, daß die anzuwendenden Elektrolyte, und dadurch das Wasser, ersetzt werden. Die Elektrodialyse ist dem Wasser nach eine Elektrolyse. Ist z. B. Chlorkalium im Kolloid in der Mittelkammer anwesend, so wandert das Kaliumion zur Kathode durch die Membran hindurch und ersetzt in der Kathodenkammer das Wasser unter Bildung von Kalilauge und Entbindung von Wasserstoff. Das Chlorion wandert durch die Anodenmembran und erscheint in der Anodenkammer als Salzsäure unter Entbindung von Sauerstoff.

Die vom Kolloid adsorbierten Salze werden so als Basen und Säuren in den Außenkammern wieder gefunden. Außerdem tritt Wasser kataphoretisch in die Kathodenzelle über.

Die Elektrodialyse scheint also ein ideales Mittel zu sein, um in einem Boden adsorbierte Kationen und Anionen zu bestimmen. Leider tritt eine Komplikation ein, die ihren Wert für die Bodenkunde erheblich vermindert.

Infolge der verschiedenen Wanderungsgeschwindigkeiten der Anionen und Kationen, und infolge der negativen Ladung der Pergamentmembranen, wandert eine Ionenart schneller aus als die andere, und die Mittelkammer wird infolgedessen stark sauer. Diese Erscheinung wird von verschiedenen Autoren übereinstimmend berichtet. Ich entnehme einer Arbeit von C. O. Roett⁷⁾, daß nach 112 Stunden aus 100 g Boden 20,4 Milliequivalente Basen und nur 1,4 Milliequivalente Säuren entfernt werden konnten.

L. Michaelis⁸⁾ hat gezeigt, daß der electroosmotische Ladungssinn der Membran entscheidet, welche Ionen bevorzugt werden; positive Membranen lassen die Anionen, negative die Kationen leichter hindurch. Bradfield⁹⁾ hat versucht, diesen Mangel der Elektrodialyse zu beheben. Er präparierte eine Collodiummembran mit Hämoglobin. Der isoelektrische Punkt von Hämoglobin liegt bei $\text{pH } 6,8$; infolgedessen ist das Hämoglobin bereits in schwachsaurer Lösung positiv geladen. Bradfield verwendete nun als Kathodenmembran negativ geladenes Pergament und als Anodenmembran die oben beschriebene Hämoglobinmembran und fand folgende Säurebasen-Quotienten.

⁷⁾ Proceed. of the I. Internat. Congress of Soil Sc. 1929, II, 328.

⁸⁾ Naturwiss. 14, 30 (1926).

⁹⁾ Ebenda 23, 465 (1926).

g/100 n	Anosomenmembran aus		
	Purg.	Colloid.	Hämogl.
NaCl	0,25	0,02	0,99
Na ₂ SO ₄	0,27	0,03	0,94
Na ₂ HPO ₄	0,11	0,13	1,13
NaH ₂ PO ₄	0,17	0,26	1,69
Na-Acetat	0,34	0,20	1,60

Die Zahlen zeigen, daß für die Salze der Salz- und Schwefelsäure die Hämoglobinmembran brauchbar ist. Für die Phosphate und für die Acetate zeigt die Hämoglobinmembran jedoch denselben Fehler wie die anderen Membranen, nur im entgegengesetzten Sinne.

Bei der Anwendung der Elektrodialyse auf den Boden dürfen die geschilderten Erscheinungen nicht übersehen werden. Mattson^{*)} und Bradfield^{*)} haben, von König und Hasenbäumer^{*)} angeregt, die Elektrodialyse zur Bestimmung der austauschbaren Basen im Boden angewendet und festgestellt, daß die Bodensuspensionen nach der Elektrodialyse sauer reagierten. Daraus den Schluß zu ziehen, daß ein saurer Boden an Stelle der Basen Wasserstoffionen enthält, ist nach den oben gemachten Feststellungen unberechtigt. Die Wasserstoffionen elektrodialysierter Bodensuspensionen stammen auch in diesem Falle aus dem Wasser und nicht aus dem Boden.

Bei meinen eigenen elektrodialytischen Versuchen mit Natriumpermüll war ich insofern in einer glücklichen Lage, als in diesem Fall nur die Entfernung der Basen in Betracht kommt, so daß die geschilderten Komplikationen hier nicht störend auftreten können.

Es wurde die große Type nach W. Pauli mit einem Fassungsvermögen der Seitenkammern von 1240 ccm benutzt. Die Elektroden bestanden aus paraffinierter Kohle, doch empfiehlt sich die Anwendung von Platin, weil die Kohle der Anode kolloidal zerfällt wurde^{*)}. Die Mengen der kolloidal

^{*)} Journ. Agricult. Science (U.S.) 22, 1903.

^{*)} Proceed. of the I. Intern. Congress of Soil Sc. 1903, II 397.

^{*)} Landwirtsch. Vers.-Stat. 22, 277.

^{*)} Literatur über Kohlenzerfallung bei F. C. L. Thorne, Kolloid-Zachr. XXXI, S. 119.

gelöteten Kohle sind recht bedeutend. So wurden nach 24 Stunden in der Anodenkammer 1,6 g Kohle, in denen 0,0210 g Fe₂O₃ enthalten waren, nachgewiesen. Die Reaktion des Kohlenols war pH 2,9.

In die Mittelkammer wurden 200 g lufttrockener Permutter der Formatt-A. G. eingefüllt und in 200 ccm Wasser suspendiert. Unter Vorschaltung eines Lampenwiderstandes gingen 95 mA durch das System, und die Temperatur stieg in der Mittelkammer auf 40° C. Nach je 24 Stunden wurden die Lösungen in den Seitenkammern erneuert und die in die Kathodenkammer überführten Basen durch Titration mit 0,1n-HCl laut nachstehender Tabelle bestimmt:

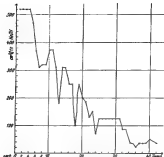
Zeit nach Tagen	Basen in 0,1 nHCl	Zeit nach Tagen	Basen in 0,1 nHCl	Zeit nach Tagen	Basen in 0,1 nHCl
1	220,8 ccm	16	210 ccm	29	124 ccm
2	220,8 "	16	210 "	30	124 "
3	220,8 "	17	210 "	31	124 "
4	220,8 "	18	208,2 "	32	124 "
5	271,2 "	19	208 "	33	124 "
6	272 "	20	198,4 "	34	124 "
7	210 "	21	190 "	35	124 "
8	221,4 "	22	124 "	36	124 "
9	221,4 "	23	124,8 "	37	124 "
10	272 "	24	74,4 "	38	124 "
11	272 "	25	124 "	39	124 "
12	210 "	26	124 "	40	124 "
13	188,6 "	27	124 "	41	124 "
14	210 "	28	124 "		

1. Sa. 2221,6 ccm = 22,79 g Na₂O

Der Permutter haften zunächst an der positiven Membran, war danach also negativ geladen. Am Ende des Versuches war jedoch die negative Membran mit einem später beschriebenen feinen dünnen Permutterfilm bedeckt.

Nach 38 Tagen trübte sich die Kathodenflüssigkeit; der abfiltrierte Niederschlag, 0,1642 g, wurde als Kieselsäure und Tonerde bestimmt. Da danach Zersetzung des Permutter vorlag, wurde der Versuch abgebrochen.

In der Mittelkammer waren zwei Fraktionen von verschiedener Korngröße entstanden, die durch Dekantieren voneinander getrennt wurden.



Zeitlicher Verlauf der elektro-dialytischen Entsauerung.

Bemerkung: Die Schwankungen erklären sich dadurch, daß es nicht gelang, die Stromstärke konstant zu halten; infolge der Adhäsion des verfallenen Permutits an der Membran veränderte sich dauernd der innere Widerstand der Zellen; Röhren führte nicht zum Ziel.

Fraktion 1 vom Aussehen des Permutits und Fraktion II von knollartigem Aussehen. Nach der obenstehenden Tabelle wurden 23,79 g Basen in der Kathodenkammer bestimmt.

Die Bilanz:

136 g grobes Material	} 300 g Permutit in d. Mittelkammer eingefüllt,
28,5 g feines Material	
<u>23,8 g überführte Basen</u>	
in Ca. 20%, N g	

ergibt eine recht befriedigende Übereinstimmung.

Die Analyse der beiden Permutitfraktionen hatte folgendes Ergebnis:

Bei 125° getrocknet	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃ %	CaO %	Na ₂ O %	K ₂ O %	Wasser %
A. Grobe Fraktion	55 56,8 57,3	30,5 30,5 30,8	Nach Best. 1,7 0,8	0,37 1,3 1,3	— — 1,3	13,9 14,3 13,9
B. Feine Fraktion	53,5 53,4 57,3 59,3 44,7	30,1 29,7 29,8 28,8 24,5	— 0,0 0,0 0,0 —	0,9 0,0 0,7 0,2 0,2	— — — — —	13,3 13,4 13,9 13,9 20,8
Nach 5 Tg. eintrocknen						

Es liegt also keine einheitliche Substanz vor, sondern ein Gemisch der Gole des Eisen- und Aluminium-Hydroxyds und der Kieselsäure.

Das „Molekulerverhältnis“ der verschiedenen Proben ist folgendes:

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Basen
A. Grobe Fraktion	3 3 3,3	1 1 1	0,03 0,2 0,2
B. Feine Fraktion	3 4 3,3 4,7 3,0	1 1 1 1 1	0,03 0,03 0,04 0,02 0,02
Nach 5 Tg. eintrocknen			

Die feindispersive Fraktion ist danach stärker eintrocknet als das grobe Material. Dem größeren Basendefizit entsprechend ist der Wassergehalt des feinen Materials höher als der des groben. Die Angaben beziehen sich auf eine bei 125° getrocknete Substanz.

Herr Dr. Heykes hatte die Freundlichkeit, die mineralogische Untersuchung der feindispersen Substanz auszuführen. Die Bestimmung der Brechungsindizes unter dem Mikroskop ergab, daß sie nicht aus einheitlichem Material besteht, wodurch das Analysenergebnis bestätigt wird. Doch liegen die Brechungsindizes so nah beieinander, daß Schlußfolgerungen aus dieser Feststellung allein nur mit Vorbehalt gezogen werden können. Es scheint also, daß das Formittmolekül bei völliger Entbasierung in seine Kom-

ponenten auseinanderbricht. Durch diese Annahme würde sich auch die Anwesenheit von Tonerde und merkwaardigerweise auch von Kieselsäure in der Kathodenkammer erklären, die auf S. 5 beschrieben worden ist^{*)}. Danach wären die Basen die Elementen, die Tonerde und Kieselsäure im Permutit zusammenhalten, was mit der asophteren Natur des Tonerdehydrats im Einklang ist. Auch die Härte des Permutitkorns nimmt mit zunehmender Entfärbung ab; schon der teilweise entfärbte Permutit läßt sich ohne besondere Kraft-Bewegung zwischen den Fingerspitzen zerreiben.

Mit den beiden enthaltenen Permutitfraktionen wurden folgende Versuchsreihen angestellt:

A) Je 5 g wurden mit je 40 ccm einer 0,1 n Kaliumchloridlösung 10 Minuten geschüttelt und nach dem Filtrieren mit 0,1 n Natronlauge und Phenolphthalein in der Hitze titriert. Die Chlorbalkenlösung zeigte pH 6,4; die KCl-Filtrate hatten eine saure Reaktion von pH 5,2. Nach dem Abfiltrieren wurde die Operation mehrfach wiederholt.

Danach scheint also direkter Wasserstoffionenaustausch vorzuliegen; allein es scheint nur so, wie die weitere Untersuchung der Filtrate zeigt. Die Filtrate wurden in einer Platinschale mehrmals bis zur staubfeinen Trockenheit eingedampft, mit Salzsäure aufgenommen und in der Hitze mit Ammoniak behandelt.

Der Niederschlag wurde im Platintiegel gegüßt und gewogen, in Salzsäure aufgenommen und nach der Reduktion mit Zinkchlorid mit 0,1 n Kaliumpermanganatlösung titriert. Die Ergebnisse zeigt die folgende Tabelle:

	0,1 n KOH ccm	$Al_2O_3 + Fe_2O_3$ mg	Fe_2O_3 titriert
1. Schmelzung	2,4	8,8	—
2. "	—	2,8	—
3. "	—	1,8	—
4. "	1,2	5,6	5,6
5. "	1,2	—	—
6. "	1,2	1,6	1,6
7. "	3,6	—	—
8. "	3,6	2,4	1,6
9. "	4,8	4,8	2,9

^{*)} Bei der Elektrodialyse von Böden wurde die gleiche Erscheinung beobachtet, sobald die Basen entfernt waren.

Die Austauschacidität des durch Elektrodialyse erhaltenen Permüllits ist also wie beim Boden an die Gegenwart von Aluminium und Eisen geknüpft, und zwar überwiegt in diesem Versuch das Eisen. Die Versuchsserien wurden in 1 m Kaliumchloridlösung bei 21° wiederholt, wobei die beschriebenen Erscheinungen noch deutlicher auftraten. Beim Eindampfen des Filtrats wurde auch Kieselsäure isoliert. Bei der Fällung der Sesquioxyside zeigte es sich, daß das Eisen sowohl als Oxydul als auch als Oxyd vorlag. Infolgedessen wurde nach dem Abscheiden der Kieselsäure mit rauchender Salpetersäure oxydiert und dann erst mit Ammoniak gefällt. Wurde die Oxydation unterlassen, so enthielten die Filtrate nach der Fällung mit NH_4OH noch erhebliche Mengen Eisen, ein Beweis, daß das Eisen auch als $\frac{\text{Fe}}{\text{H}}$ in Lösung gegangen ist. Die Ergebnisse zeigt die folgende Tabelle:

10 g grobe Frkt. in 50 ccm 1 m KCl	0,1 n KOH ccm	SiO_2 mg	Al_2O_3 + Fe_2O_3 mg	Fe_2O_3 unf. mg
1. Behandlung	24,0	2,8	25,7	24,9
2. "	8,5	1,1	7,6	9,5
3. "	4,2	1,2	4,2	3,5
4. "	3,0	1,2	3,6	—
5. "	3,3	0,8	10,8 ^{*)}	2,4
6. "	3,3	2,0	12,3 ^{*)}	2,3
7. "	1,3	4,1	17,7 ^{*)}	3,5
8. "	1,3	2,5	6,3 ^{*)}	5,2
9. "	1,5	0,5	2,3 ^{*)}	—
10. "	0,7	1,5	13,9 ^{*)}	—
11. "	0,5	1,2	12,0	—
12. "	1,3	—	8,3	—
13. "	1,3	0,9	7,7	—
14. "	1,2	0	—	—
15. "	1,3	1,0	6,9	8,9
16. "	1,3	0,9	6,8	10,8
17. "	1,0	1,3	27,1	8,8
18. "	1,0	0,5	14,9	3,9
19. "	1,0	2,5	8,2	2,9
20. "	0,5	4,9	8,9	1,8

*) Mit nach SiO_2 vor der Fällung oxydiert.

Es besteht keine Äquivalenz zwischen titrierter Säure und in Lösung gegangenem Al und Fe, und die Lösung von SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 erfolgt

unregelmäßig und unkontrollierbar, so daß angenommen werden muß, daß die Gele der SiO₂ und der Sesquioxide kolloidal in Lösung gehen.

Die Chlorkaliumlösung hat also auf die Gele der Kieselsäure, des Aluminiums und des Eisens des verfallenen *Permutia peptisierend* eingewirkt. Reiffenberg²¹⁾ hat die peptisierende Wirkung der Kieselsäure auf Eisenhydrogele beschrieben. Da hier jedoch die hier gefundene Kieselsäure nicht ausreichend erscheint, um die gefundenen Mengen Eisen zu peptisieren, muß der Kaliumchloridlösung in erster Linie diese Wirkung zugeschrieben werden. Van Bemmelen²²⁾ hat die Zersetzung von Kaliumsalzen durch rotes MnO₂-Hydrogel beschrieben, durch die die Lösung sauer wird. Die entgegen gesetzte Adsorption zeigt das Hydrogel des Kupferoxyds, das aus Kaliumchloridlösung die Säure adsorbiert, so daß die Lösung alkalisch wird. Cameron-Hurst²³⁾ und später Ungerer²⁴⁾ haben gezeigt, daß die Phosphate des Eisens und Aluminiums durch Chlorkaliumlösung unter Bildung von Salzsäure zersetzt werden und haben die „Austauschbarkeit“ im Boden in erster Linie auf diese Reaktion zurückgeführt. Meine Versuche zeigen, daß die beim Abtrennen des *Permutia* entstehenden Hydrogele des zwei- und dreiwertigen Eisens und des Al durch Chlorkaliumlösung in Lösung gehen, vielleicht im Sinne folgenden Schemas:



Das Gleichgewicht dieser gewissermaßen auf dem Kopf gestellten Fällungsreaktion wird aber erst dann zugunsten der Eisensalze verschoben, wenn die dabei freiwerdende Halblauge durch daneben anwesende Verbindungen abgebunden werden kann. Das ist im Gelgemisch des enthaltenen *Permutia* möglich, da sowohl Kieselsäure als auch Aluminiumhydroxyd vorhanden ist. Dadurch ist auch die Tatsache verständlich, daß Eisenhydrogel allein mit KCl keine Alkalisierungsergebniß erzielt, s. u. m. e. l. c. h. o. n. und K a p p e n²⁵⁾

²¹⁾ Abstracts of the Proceed. of the 1. Intern. Congress for Soil Sci. II, 228.

²²⁾ Van Bemmelen, Die Adsorption, Dresden 1919, 94—95.

²³⁾ Journ. Amer. chem. Soc. 28, 586.

²⁴⁾ Fortschr. d. Landwirtsch. 2, 519.

konnten die älteren Angaben von Warrington, jun.⁴⁴⁾, nach denen KCl durch $\text{Fe}(\text{OH})_3$ unter Alkalisierung des Filtrats zerfällt wird, nicht bestätigen. Meine Versuche mit $\text{Al}(\text{HO})_3$ bzw. mit $\text{Fe}(\text{OH})_3$ zeigten, daß eine KCl-Lösung durch $\text{Al}(\text{OH})_3$ bzw. $\text{Fe}(\text{OH})_3$ alkalisch — wenn auch nur schwach alkalisch — wird. 5 g feuchtes $\text{Al}(\text{OH})_3$ mit NH_4OH aus $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ heiß gefüllt und ausgewaschen, wurden mit 100 ccm 1 m KCl-Lösung zwei Stunden in der Maschine geschüttelt und das Filtrat mit 0,1 n HCl und Methylrot titriert; 20 ccm verbrauchten 0,16 ccm 0,1 n HCl. Da die Möglichkeit besteht, daß das gefüllte $\text{Al}(\text{OH})_3$ vom Füllungsmedium noch NH_4OH adsorbiert hat, wurde der Versuch mit elektrodialytisch gereinigtem $\text{Fe}(\text{OH})_3$ -Gel wiederholt.

Das $\text{Fe}(\text{OH})_3$ wurde heiß aus FeCl_3 -Lösung mit NH_4OH gefüllt, auf dem Dampfstrichter ausgewaschen und eine Woche der Elektrodialyse unterworfen, bis in der Kathodenkammer kein Hydroxylion mehr nachweisbar war. Das $\text{Fe}(\text{OH})_3$ haftete an der Kathodenmembran, war also positiv geladen. Das so gereinigte Eisenhydroxyd wurde mit 100 ccm 1 m KCl-Lösung in der Maschine eine Stunde geschüttelt und das Filtrat, das mit Methylrot deutlich alkalisch reagierte (pH 7,2), mit 0,1 n HCl titriert: 50 ccm verbrauchten 0,40 ccm 0,1 n HCl.

Auch die Versuche mit elektrodialytisch gereinigtem $\text{Fe}(\text{OH})_3$ bestätigen also die Angaben von K. Warrington, jun., der wohl nicht mit dialytisch gereinigten Gelen gearbeitet hat. — Die Annäherung des Filtrats erklärt sich zwanglos durch die bekannte saure Reaktion der Salze von Eisen sowohl als von Aluminium. —

Es lag nun nahe, auch mit elektrodialytisch gereinigtem Fe-Silikat zu arbeiten. Dabei stellte es sich heraus, daß ein aus FeCl_3 -Lösung und „Wasserglas“ hergestelltes „Eisen-Silikat“ keine chemisch definierte Substanz war⁴⁵⁾. Es erhielt erhebliche Mengen Na , die bei der Elektrodialyse in der Kathodenkammer titriert wurden. Die Elektrodialyse wurde abgebrochen, sobald die Kathodenlösung nicht mehr alkalisch reagierte und noch kein Fe nachweisbar war. Die Analyse ergab folgende Zahlen:

⁴⁴⁾ Journ. prakt. Chem. 1868, 328.

⁴⁵⁾ Vgl. dazu E. Jurek, Ztschr. angew. Chem. 1906, 1731.

	SiO_2	Fe_2O_3	H_2O
1. Probe	78,8 %	21,8 %	8 %
2. Probe	79,1 %	22,0 %	8,3 %

Das ergibt 8,6 bzw. 8 Mol SiO_2 auf 1 Mol Fe_2O_3 . Dieses von Na befreite „Eisensilikat“ ergab mit Wasser sowohl als mit 1 n HCl -Lösung „Ammonschmelze“, und Eisen ging in Lösung, das mit K-Ferrocyanid nachgewiesen wurde.

B) Je 5 g der feinen und groben Permutitfraktion wurden mit je 40 cm 0,2 n HCl -Lösung suspendiert und fünf Wochen unter Schütteln die Aufnahme von 0,1 n Kalilauge mit Methylrot als Indikator titrimetrisch verfolgt. Die Basenaufnahme erreichte bei der groben Fraktion bei 89,7 cm und bei der feinen Fraktion bei 29,8 cm ihr Ende. Der enthaltene Permutit hat danach bei Zimmertemperatur nur etwa 18% der Basen aufgenommen, die er im Höchstfalle hätte absorbieren können. Nachdem die Basenadsorption zum Stillstand gekommen war, wurde abfiltriert und Filtrat und Bodenkörper mit folgendem Ergebnis untersucht:

Das Filtrat vom feinen Permutit enthält 8,2 mg Kieselsäure und 6,6 mg Fe_2O_3 . Der Bodenkörper bestand aus 56,5% SiO_2 , 3,9% Fe_2O_3 , 18,3% Al_2O_3 , 2% Na_2O , 3,6% H_2O , 13% W.

Es ist nun noch der Frage näherzutreten, ob nicht auch die Kieselsäure allein befähigt ist, mit HCl „Neutralsalzsäurestrang“ hervorzurufen. Die Untersuchung von Kappen und Hämmelehen^{*)} verneint diese Frage, die von Nolte bejaht worden war, ausdrücklich. Da diese Frage naturgemäß vom Dispersions- und Reinheitsgrad der Kieselsäure abhängen muß, wurden die Versuche von Kappen unter besonderen Vorichtsmaßregeln mit Kieselsäurehydratgel wiederholt. Die Kieselsäure wurde aus Natriumsilikat mit Salzsäure in der Kälte abgeschieden und nach sorgfältigem Auswaschen 14 Tage der Elektrodialyse unterworfen, bis in der Anodenkammer kein Chlor mehr nachweisbar war. Das Kieselsäurehydratgel war so feindispers, daß es im gewöhnlichen Filter nicht filtriert werden konnte; Methylrot wurde von ihm schon in wässriger Suspension mit Heliotrois Farbe absorbiert; die

^{*)} Hämmelehen u. Kappen, Zentr. Pflanzenphysiol. Dtschg., Abt. A., 18, 77 (1929).

überstehende Flüssigkeit war farblos. Mit KCl versetzt, konnten keine meßbaren Mengen Wasserstoffionen sirlet werden. Es werden dadurch die Feststellungen Kappans bestätigt, daß durch Dialyse gereinigtes Kieselsäuregel nicht ionisierbar ist, Kaliumchlorid zu versetzen. Gegenwärtige Behauptungen könnten sich leicht durch die Verunreinigung der Kieselsäure mit Salzsäure, die durch Auswaschen nicht zu beseitigen ist, erklären.

Die Untersuchungen werden fortgesetzt, insbesondere in Hinsicht auf das Verhalten von reinem Fe bzw. $\text{Al}(\text{OH})_3$ gegen KCl bei Gegenwart von SiO_2 . Bei der Ausführung der Untersuchung wurde ich durch Herrn J. Wunschik unterstützt, wofür ihm auch an dieser Stelle gedankt sei.

Zusammenfassung.

1. Der seiner Basen beraubte Permutit muß als ein Gemisch von wechselnder Zusammensetzung angesprochen werden; eine „Permutitsäure“ existiert sehr wahrscheinlich nicht.

2. Durch Einwirkung von Neutralsalz auf den aufklasten Permutit werden Eisen und Aluminium peptisiert, vielleicht im Sinne des Schemas:



Das Gleichgewicht dieser Reaktion wird bei Gegenwart von Kieselsäuregel, das die entstehende Kalilauge abbündet, zugunsten des FeCl_3 verschoben, das infolge Hydrolyse die saure Reaktion hervorruft.

3. Ein durch Elektrodialyse gereinigtes Eisenhydroxyd- SiO_2 -Gemisch („Eisengelfestgel“) reagiert sauer und sendet Fe^{+++} beim Aufkochen in Wasser und stärker in KCl-Lösung in Lösung.

4. Ein direkter Wasserstoffionenaustausch ist danach unwahrscheinlich.

5. Reines Kieselsäure-Hydroxygel bewirkt keine Neutralsetzung.

6. Die „Austauschacidität“ des Bodens würde demnach hauptsächlich auf der Wechselwirkung zwischen Neutralsalzen

und den bei der Entkäsung der Bodensilicate frei werdenden Gelen von Eisen- bzw. Aluminiumhydroxyd bei Gegenwart von Kieselsäure beruhen. Die diesen Silicatgelgemischen wasser-eigenthümliche Eigenschaft, mit KCl sauer zu reagieren, wird im normalen Boden durch adsorbierte Basen verdeckt.

7. Völlig entkäsler Permußt kann bei Zimmertemperatur nicht wieder regeneriert werden. Diese Feststellung ist von großer Bedeutung für den entkässten Boden. Es besteht die Gefahr, daß das Gelgemenge des entkalkten Bodens durch Kalkung nur zum Teil wieder zum Nährstoffaustausch befähigt wird.

Die Messung der Bodenreaktion, reaktionsändernde Einflüsse und die biologische Auswertung für den Ackerbau.

Von J. Gössens und W. Anonym.

Aus der Forschungsanstalt für Bodenkunde und Pflanzen-
erzöhrung, Rellingen bei Hamburg.

Die Reaktionszahl bildet eine der wichtigen GröÙen für die Bodenbeurteilung in der Praxis.

Sobald die Reaktionsmessung in breiteren Kreisen bekannt wurde, setzten sich die Bestrebungen ein, sogenannte Feldmethoden zu entwickeln, die dem Landwirt, dem Landwirt auf die allerbilligste Weise eine „Orientierung“ über die Reaktion oder den Kalkzustand, als eng mit der Reaktion des Bodens verknüpft, zu geben. Unsere vergleichenden Untersuchungen und Erfahrungen zeigten, daß die Anwendung solcher Verfahren mit einem großen Risiko belastet ist. Der Landwirt, dem sie in die Hand gegeben werden sollten, neigt noch zu sehr der bodenkundlichen Schätzung (von dem Mangel an chemischer nicht zu sprechen), um zunächst einmal die Bodenprobe mit sicherem Urteil zu entnehmen, auf deren Untersuchung hin doch ein Urteil begründet werden soll, geschweige denn eine Untersuchung kritisch auszuführen. Die größte Gefahr aber ist, daß auf solchen Befunden gar noch wissenschaftliche Folgerungen aufgebaut werden, die nicht etwa Klärung schaffen, sondern Verwirrung, und die daher eine Verringerung der Wissenschaft bedeuten. Da auch heute noch und immer wieder solche Untersuchungsverfahren, in erster Linie das Comber-Verfahren und die Untersuchung mit dem sogenannten Universal-Indikator von Merck, in der Praxis auftauchen, wollen wir zunächst zwei Tabellen zur Kritik beider Verfahren vorführen.

Tabelle I.
Vergleichung des Comber-Verfahrens mit der
elektrometrischen Messung (Chinhydran-Elek-
trode), dargestellt an einem Glei: 37 Bodenproben.
Februar 1924.

Nr.	Bodenart	Reaktion nach Comber in Ph	Reaktionszahlen d. Aufschwemmung in Wasser	
			Ph	$\alpha_2 = \text{ECH}$ Ph
1	Torfboden (vorbeurteilt)	4—5	3,7	7,8
2	h. Sand, abgetastet	5	4,2	3,9
3	Moorsand	4—5	4,1	3,0
4	Moorsande	4—5	4,2	3,3
5	Moorsande	4—5	4,3	3,5
6	Moorsande	4—5	4,3	3,4
7	h. Sand (früher Heide)	4—5	4,7	5,5
8	h. Sand	4—5	5,3	4,0
9	moorerdiger Sand	5	5,0	4,3
10	schw. h. Sand	5	5,0	4,3
11	schw. h. Sand	4—5	5,1	4,2
12	h. Sand	5	5,2	4,2
13	schw. h. lehmiger Sand	5	5,2	4,3
14	schw. h. lehmiger Sand	5—6	5,3	4,3
15	h. feiner Sand	5	5,3	4,5
16	Untergrund-Sand	5—6	5,3	4,7
17	h. Sand	5	5,3	4,7
18	unsortierter Sand	5—6	5,3	4,8
19	h. schw. lehmiger Sand	5	5,7	4,5
20	h. schw. lehmiger Sand	5	5,7	4,6
21	unsortierter Sand	5—6	5,7	4,9
22	h. grober Sand	5—6	5,8	4,5
23	h. Sand	5	5,8	4,4
24	h. Sand	5	5,9	4,5
25	h. grober Sand	5	5,9	4,5
26	st. h. Sand	5—6	5,9	4,5
27	h. Sand	5—6	6,0	5,1
28	unsortierter grober Sand	5—6	6,0	5,3
29	unsortierter Sand	6,5—7	6,1	5,5
30	h. Sand	5—6,5	6,2	5,3
31	h. feiner Sand	5	6,2	5,2
32	h. Sand	5	6,2	5,2
33	schwerer h. Sand	5—6,5	6,3	5,3
34	h. Sand	5—6,5	6,3	5,3
35	h. Sand	5—6,5	6,3	5,3
36	h. moorerdiger Sand	6,5—7	7,2	5,6
37	h. Sand	6,5—7	7,4	5,8

Anm.: 26 und 27 sind kalkreich, bei 29 stehen folgende Reaktionen.

Als Test-Messung wurde die elektrometrische mit der
Chinhydran-Elektrode nach Billmann angewendet. (Kon-

trolle der Apparatur durch zwei Normal-Weston-Elemente, davon eins zur Kontrolle des täglich gebrauchten, und Pufferlösungen nach Sørensen.) Die Untersuchung beschränkt sich auf 37 Böden ein und desselben Gutes, deren Charakter am Rande der Aufzeichnung angegeben ist. Die schwarz ausgelegene Linie ist die Test-Kurve der Reaktion der Aufschwemmung in Wasser, zugeordnet vom sauersten Boden, ansteigend in das alkalische Gebiet. Ihr untergeordnet wurde die Reaktion der Bodenaufschwemmung in Chloralkaliumlösung. Die Darstellung zeigt erstens, daß das Comber-Verfahren einen an sich viel zu großen Spielraum an der Beurteilung läßt; wenn wir die Reaktionszahlen 2 und 4 zugrunde legen, eine Spanne von nicht weniger als von 100 bis 1000 mg H⁺ in 10 000 l Wasser. Der Spielraum ist unter Umständen so groß, daß wir nicht wagen würden, daraufhin die angestrebte Auswahl der näher zu untersuchenden Böden zu treffen, noch weniger den Anbauplan danach einzustellen oder die Auswahl der Düngemittel darauf zu begründen! Dabei ist es gleichgültig, ob wir die Prüfung in Chloralkalium oder in Wasser vornehmen.

Tabelle 2a.

Vergleichung zwischen „Universal-Indikator“ Merck mit der elektrometrischen Messung (Chinhydrin-Elektrode), dargestellt an einem Gute; 37 Bodenproben. Februar—März 1925.

Nr. des Bodens *)	Reaktionszahlen in Wasser		
	elektrometrisch pH	mit Universal-Indikator ausgeführt von wissensch. Aemlichkeit	prakt. Landwirten
1	6,7	4,5	4,5
2	4,8	5,5	5,5
3	4,1	6,0	6,0
4	4,3	6,0	6,0
5	4,3	6,0 ?	5,0
6	4,5	6,0 ?	6,0 ?
7	4,7	6,0	5,5 ?
8	5,0	6,5	5,5
9	5,0	6,5	6,5
10	5,0	6,5	6,5
11	5,1	6,5	7,0

*) Bodenart siehe Tabelle 1.

Nr. des Boden- *)	Reaktionszahlen in Wasser mit Universal-Indikator ausgeführt		
	elektrometrisch pH	wissenschaft. Analytikern	prakt. Landwirten
12	6,5	6,0	6,5
13	6,5	6,0	6,0
14	6,5	6,5	6,5
15	6,5	6,5	7,0
16	6,5	6,5	6,5
17	6,5	6,5	6,5
18	6,5	6,5	6,0
19	6,7	6,5	6,5
20	6,7	6,5	6,5
21	6,7	7	6,5
22	6,5	6,5	6,5
23	6,5	6,5	7,0
24	6,5	7,5	7,0
25	6,5	6,5	6,5
26	6,5	6,5	6,5
27	6,5	6,5	6,5
28	6,0	6,0	6,5
29	6,1	6,5	6,5
30	6,5	6,5	6,5
31	6,5	6,0	6,0
32	6,5	6,5	6,0
33	6,5	7,5	7,0
34	6,5	6,5	6,5
35	6,5	6,5	6,5
36	7,5	7,5	7,0
37	7,7	7,5	7,5

Tabelle 2b.

Vergleichung zwischen „Universal-Indikator“-
Merk mit der elektrometrischen Messung (Chin-
hydraz-Elektrode), dargestellt an einem Gute;
37 Bodenproben. Februar—März 1935.

Nr. des Bodens *)	Reaktionszahlen in $\frac{1}{2}$ n KCl mit Universal-Indikator ausgeführt		
	elektrometrisch pH	wissenschaft. Analytikern	prakt. Landwirten
1	4,5	4,5	4,5
2	4,5	4,5	4,5
3	4,5	4,5	4,5
4	4,1	4,5	4,5

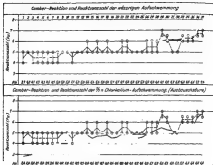
*) Bodenart siehe Tabelle 1.

Nr. des Bodens *)	Reaktionszahlen in $\frac{1}{10} \text{ n KCl}$		
	elektrometrisch pH	wissenschaftl. Analysen	mit Universal-Indikator ausgeführt von gepfl. Landwirten
5	3,3	4,0	4,0
6	3,4	4,0	4,0
7	3,6	4,0	4,0
8	4,0	4,0	4,0
9	4,0	4,0	4,0
10	4,0	4,0	4,0
11	4,2	4,5	4,0
12	4,2	4,5	4,0
13	4,3	4,5	4,0
14	4,3	4,5	4,0
15	4,5	4,5	4,0
16	4,5	4,5	4,0
17	4,5	4,5	4,0
18	4,7	4,5	4,0
19	4,7	4,5	4,0
20	4,8	4,5	4,0
21	4,8	4,5	4,0
22	4,8	4,5	4,0
23	4,8	4,5	4,0
24	4,8	4,5	4,0
25	4,8	4,5	4,0
26	4,9	4,5	4,0
27	4,9	4,5	4,0
28	5,1	4,5	4,0
29	5,2	4,5	4,0
30	5,2	4,5	4,0
31	5,2	4,5	4,0
32	5,3	4,5	4,0
33	5,3	4,5	4,0
34	5,3	4,5	4,0
35	5,3	4,5	4,0
36	5,5	5,0	4,5
37	6,3	7,0	7,5

*) Bodenzahl siehe Tabelle 1.

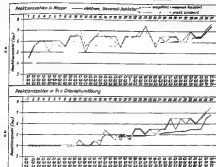
Tabelle 2 zeigt die Vergleichung der Ergebnisse mit dem Universal-Indikator von Merck und der elektrometrischen Messung. Ebenso wie bei der Prüfung des Comber-Verfahrens wurden die colorimetrischen Messungen an denselben 37 Bodenproben vorgenommen, ohne daß dem Untersuchenden die Ergebnisse der elektrometrischen Messungen vorlagen. Die erste Meßreihe (schwarz ausgegeben) wurde vom physika-

Abb. 1. Vergleichung des Gamber-Verfahrens mit der elektromagnetischen
Messung. (Chalkydra-Elektrode.) Dargestellt an einem Guts. 30 Bodenproben. Februar 1916
O. in Böhmen.



Nach-chemisches Mitarbeiter ausgeführt, die zweite Maßreihe (gestrichelt) dagegen von einem praktischen Landwirt, der bereits als Chemiker im Laboratorium mitgearbeitet hatte und daher hinsichtlich der geschult gelten dürfte. Erwähnlich ist die völlige Unbrauchbarkeit des Verfahrens für die Prüfung wässriger Bodenauszüge. Nur um den Neutralpunkt decken sich die Kurven annähernd, während sie im ganzen kritischen Gebiet bei zum Teil sehr starken Abweichungen kein Urteil gestatten. Auch die Abweichungen zwischen den beiden Untersuchungen sind teilweise genug. Besser günstiger ist das Gesamtbild bei der Messung in 1% Chlorwasserlösung. Das kommt daher, daß bei Chlorwasserlösung die Eigenfärbung

Abb. 1. Vergleichung zwischen „Universal-Indikator“ Morak und der elektrometrischen Messung. (Chlorhydrat-Methode.) Dargestellt an einem Gut 27 Polsterproben. Polsterwerke 1938. G. in Soltau.



sehr vermindert, während bei säuerlichen Bodenwasserproben die meist gelbliche Eigenfärbung unter allen Umständen eine Kompensation nötig macht. Diese Tatsache war auch der Grund, warum wir zunächst bei der Durchföhrung der colorimetrischen Messung nach Gillespie das Gerät mit einem Kompensationschlitzen versehen haben.

Die Annäherung der colorimetrischen Messung mit dem Universal-Indikator von Morak an einigen Punkten der Test-Kurve darf gegenüber dem Versuch in der Mehrzahl der Fälle bekanntlich dem Föhren, das Verfahren in die Hand des praktischen Landwirts zu legen, um so weniger, als er unter Umständen in eine Sicherheit gewahrt wird, die nicht besteht

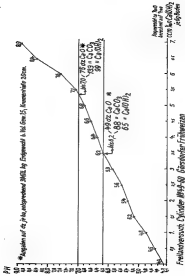
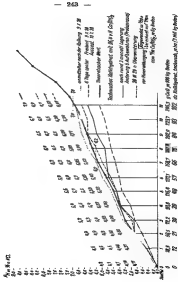
Abb. 2. Einheitsfunktion. Elektrochemische Messung, bei $V_1 = 0,02$ 

Abb. 4. Balkenfeldern. Theoretische und praktisch gefundene Werte. Bodenart: Haaseer Sandboden. Versuchsform: Balkenfeldern.



und die für ihn unter Umständen geradezu eine Gefährdung in seiner Betriebsführung bedeutet. Nicht die Billigkeit oder Bequemlichkeit eines Verfahrens darf entscheiden, sondern nur seine Sicherheit! Wir fordern daher: Die sogenannten Feldmethoden sind von Praxis und Wissenschaft fernzuhalten. Die Untersuchungen sind ausschließlich in die Hände geschulter Fachleute zu legen. Um der Landwirtschaft zweckmäßige und sichere Untersuchungsverfahren dienstbar zu machen, muß eine Arbeitsteilung und Organisation getroffen werden, bei der an jedem Punkte der geschulte Fachmann steht:

- a) für Bodenprobenentnahme;
- b) für physikalisch-chemische und biologische Untersuchung;
- c) der richtige Dolmetscher zwischen Wissenschaft und Praxis;
- d) der Landwirt selbst als Ausführer.

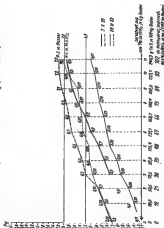
Die beste Wissenschaft nützt der Praxis nichts, wenn sie nicht verstanden und, in die Praxis übertragen, richtig angewendet und durchgeführt wird.

Untersuchungen über den Einfluß von Chlorkalium bei verschiedener Konzentration und von CO_2 auf die Änderung der Bodenreaktion bei verschiedenen Kalkstufen des Bodens. Verschiedene wiederholte Prüfungen zeigten uns, daß die Reaktionszahlen verschieden ausfallen können je nach dem Dispersitätsgrade, den man bei der Aufschwemmung der Bodenproben durch das Schütteln erreicht. Bei Sandböden hatte Schüttelart und Dauer nur einen geringen Einfluß; dagegen können bei schweren Böden, namentlich wenn sie vor der Aufschwemmung aufgetrocknet waren, Spannen auftreten, die 0,1 pm übersteigen. Trockene Lehm Böden verhalten sich oft nur langsam. Bei den Messungen für die praktische Bodenbeurteilung haben wir eine Einwirkungsdauer von drei Stunden gewählt, während deren Dauer die Probe wiederholt in bestimmter, stoßhafter Weise kräftig geschüttelt wird. Die Mengenverhältnisse sind 5 g Boden + 25 ccm Wasser oder 25 g Boden + 25 ccm 1/1 = Chlorkaliumlösung; beide wurden auf neutrale Reaktion geprüft.

Bei der Bestimmung des Kalkdefizits durch gestaffelte Beigabe von Kalkhydrat in Form von Kalkwasser lassen wir die Proben 24 Stunden unter häufigem Schütteln stehen.

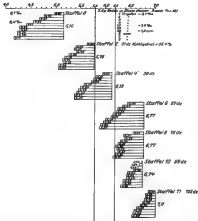
Man ist daher übereingekommen für die Beurteilung der Böden auf ihren Säuregrad die Messung der Aufschwemmung in 1/1 n Chlorkalium zugrunde zu legen. Es ist richtig, daß wir damit einen unteren Grenzwert erhalten, eine unmittelbare biologische Auswertung gestattet diese Zahl aber nicht. Dazu ist die Kenntnis der aktiven Reaktion des Bodens unbedingt nötig; wird doch vom aktiven H-Ion oder OH-Ion, gleichgültig wie es entsteht, letzten Endes der unmittelbare physiologische Einfluß auf die Mikroorganismen des Bodens und die höheren Kulturpflanzen selbst ausgeübt. Es ist also wichtig, bei der Untersuchung der Böden neben der Chlorkaliumzahl auch stets die aktive Zahl zu bestimmen und vor allen Dingen auch deren Schwankungen während der Kulturperioden festzustellen. Der Wachstumsverlauf wird dann oft klarer in seinen Zusammenhängen hervortreten und zu erfassen sein. Gewisse Beziehungen zwischen den beiden Reaktionszahlen in Chlorkalium und Wasser treten bereits in der Tab. I zutage, wo die aktive Reaktion der ansteigenden Größenordnung nach geordnet, die entsprechende Reaktion in Chlorkaliumlösung aber untergeordnet wurde. Wir erkennen, daß vom Boden Nr. 10 ab bis zum Boden Nr. 20 die Chlorkaliumkurve verhältnismäßig starke Schwankungen aufweist, d. h. nichts anderes, als daß umgekehrt die aktive Reaktion hin- und herläufig sich darstellt, wenn wir sie auf ansteigend geordnete Chlorkaliumzahl beziehen, solange durch eine niedrige Reaktionszahl in Chlorkalium sich ein ungenügender Kalksättigungsgrad des Bodens kundtut. Aus sehr zahlreichen Messungen beider Reaktionszahlen dürfen wir folgenden folgern: Sobald der Basensättigungsgrad des Bodens so weit gestiegen ist, daß die Reaktionszahl in Chlorkalium 5,2 wird, bewegt sich die aktive Reaktion mit sehr geringfügigen Schwankungen dicht am Neutralpunkt 7. Solche Böden zeigten sich auch in der Praxis ausnahmslos ertragssicher, sofern nicht etwa die Wasserregulation zu wünschen übrig läßt. Umgekehrt kann nicht gefolgert werden, daß ein Boden, der aktiv neutral ist, an sich eine genügende Sicherheit gegen reaktionsstörende Einflüsse und ihre etwaigen biologischen Nachteile besitzt. Ob dies der Fall ist, wird aus der Messung der Chlorkaliumzahl dann zu folgern sein, wenn diese bei aktiv neutraler Reaktion sich unter p_{H} 6 herabgedrückt zeigt.

Abb. 5. Kalkdetaill. Beobachtungen der R.-Z. (pH) in 1/2 m KCl-Lösung R.-Z. (pH) in Wasser, Reaktionsverlauf mit Kalkhydrat-Messung unmittelbar nach der Ernte (3. Oktober 1928) und nach der Düngung (28. März 1929).



Seitdem es uns, im Besitze eines eigenen Versuchsfeldes unmittelbar beim Institut, ermöglicht wurde, unter genauer Kontrolle auch der Witterung eine regelmäßige Prüfung verschiedener Kulturböden während der ganzen Kulturperiode vorzunehmen, hielten wir es für dringend erwünscht, den Verlauf der Änderungen von Böden verschiedenen Kalkzu-

Abb. 6.



standes und verschiedener Zusammensetzung zu verfolgen. Es lag uns auch daran, weiteren Einblick in die Ursachen zu gewinnen, die eine Reaktionsänderung des Bodens bestimmen und ihr Ausmaß bei verschiedenem Kalkzustand zu ermitteln. Zur Kulturperiode möchten wir dabei nicht nur die Wachs-

grundsand des Versuchsfeldes hergestellt; erst nach gleichmäßiger Lagerung unter dem Einfluß der Niederschläge wurde er mit dem Versuchsboden überschichtet. Jeder Zylinder faßt bei 20 cm Krumentiefe rund 27 kg Erde und hat eine Oberfläche von 3000 cm. Das Kalkdefizit des Bodens wurde elektrometrisch durch gestaffelte Beigaben von titrierbarem Kalkwasser bestimmt. Die Titrationskurve ist in Tab. 3 dargestellt.

Tabelle 3.
Kalkdefizit.
Elektrometrische Messung in $\frac{1}{2}$ N. KCl.

Zusatz von $\frac{1}{2}$ n. Ca(OH)_2 (aus $\frac{1}{2}$ n. berechnet)	Änderung der Reaktion		Entspricht da $\text{CaO} - \text{CaCO}_3$ — Ca(OH)_2 von 100% je 5 N.H. kg Bodgew.
	pH	mg H/100000	
0	4,2	681	
0,5	4,3	817	
1,0	4,5	129	
1,5	5,2	63	
2,0	5,4	49	
2,5	5,6	35	
3,0	5,9	18	
3,5	6,2	4,9	48 : 55 : 56
4,0	6,4	4,9	
4,5	6,6	2,5	
5,0	6,8	1,6	
—	7,0	1,0	75 : 135 : 99
5,5	7,1	0,79	
6,0	7,2	0,55	
6,5	6,4	0,54	
7,0	6,9	0,21	

Die nächste Frage lautete: Ist es möglich, gemäß den Berechnungen aus der Sättigungskurve, durch technisch hergestelltes Kalkhydrat im Versuchsboden dieselben Staffelwerte zu erreichen? Hierüber gibt Tab. 4 Aufschluß.

In dieser Tafel ist der theoretische Wert der Titrationskurve eingezeichnet (—). Die zweite Kurve () zeigt die Einstellung des Bodens unmittelbar nach Beimischung des Kalkhydrats. Die Ergebnisse zeigen, daß es in der Tat mit großer Genauigkeit möglich ist, den gefundenen theoretischen Wert auch im praktischen Versuch zu erreichen. Sechs Tage später, also nach kurzer Umwandlungsfrist, wurde die Chlorkaliumzahl nochmals gemessen; sie ist ebenfalls in der Tafel eingezeichnet

(.....). Der Verlauf der Linie zeigt, daß eine kleine Fäulnis einsetzt, die auf die Umsetzung des Kalkes im Boden hindeutet. Der Versuch ist auch praktisch von Bedeutung, als er zeigt, daß man bei berechneter Verwendung von Kalkhydrat einen Boden, hier sogar einen Sandboden, der seine Ertragsfähigkeit durch Kalkmangel verloren hat, binnen kürzester Frist, darn noch ganz kurz vor der Aussaat, heilen kann.

Tabelle 4.

Kalkdefizit. Theoretische und praktisch erreichte Werte; Änderung während der Lagerung.

Stoffel Nr.	$\frac{\text{Kalkhydrat}}{\text{Kalkhydrat}}$ g/g	Theoretischer Wert		Reaktion in $\frac{1}{100}$ NCl							
				Freiland nach Kalkung 5. 10. 1909				Freiland 5. 10. 1909 17. v. Januar			
		pp	mg/l	pp	mg/l	pp	mg/l	pp	mg/l	pp	mg/l
0	0	4,2	621	4,1	704	4,1	724	4,14	724	4,17	679
1	12	4,8	251	4,5	217	4,5	217	4,48	221	4,97	427
2	21	4,9	125	4,9	125	4,9	125	4,92	125	4,90	281
3	30	5,2	68	5,3	56	5,0	100	4,98	116	4,90	128
4	39	5,4	40	5,5	32	5,4	46	5,37	46	5,16	93
5	48	5,5	22	5,7	20	5,4	22	5,45	22	5,33	47
6	57	5,6	13	5,6	19	5,7	20	5,43	18	5,43	37
7	66	5,5	6,5	5,7	6,5	5,6	12	5,35	14	5,33	20
8	75	5,4	3,4	5,6	3,3	5,5	5,5	5,39	12	5,73	20
9	84	5,3	3,3	5,7	3,3	5,6	3,3	5,39	5,5	5,77	17
10	93	5,7	2,8	5,6	1,8	5,6	3,3	5,30	5,5	5,90	12
11	102	7,9	1,6	5,9	1,8	5,7	2,8	5,50	3,3	5,07	5,5

Um gleichzeitig einen Einblick in die Veränderung der Bodenreaktion bei der Aufbewahrung im Bodenprobenraum zu gewinnen, wurde dieselbe Probe nach dreimonatigem Lagern im trockenen Zustande abermals genommen. Wir sehen, daß bis zur Staffel 6 keine bemerkenswerte Änderung eingetreten ist, von Staffel 7 ab aber eine deutliche weitere Senkung erfolgt ist, d. h. der Boden arbeitet auch während der Aufbewahrung und dem langsamen Abtrocknen. Die Bodenproben werden im besonderen Raum, geschützt vor dem Einfluß von Dämpfen, unter Luftzutritt aufbewahrt, so, daß sie ohne künstliche Erwärmung langsam austrocknen können. Probeflaschen werden daher nicht mit Kork verschlossen, sondern nur mit Papier zugedreht, oder die Proben werden in Leinwandbeuten aufbewahrt, die weder appretiert sind noch mit Seife gewaschen werden.

Die nächste Messung erfolgte nach der Überwinterung am 28. März 1928, und zwar bevor die einzelnen Zylinder eine Mineraldüngung erhielten. Im Herbst erhielt der Weizen keinerlei Düngung, um den Einfluß der Reaktionsänderung durch Kalkstoffabgabe auf das Wachstum klar hervortreten zu sehen. Es ist bemerkenswert, daß diese erste Messung im Frühjahr die gesamte Stoffel 0 völlig unverändert zeigt, und in der Zeit hatte der Boden auch keine Veranlassung, große Differenzen zu zeigen, da er von der letzten Messung ab bis zum Frühjahr tief gefroren war. Anders die Kalkstoffeln: Wir sehen in dem gesenkten Verlauf der Kurve sehr deutlich die innere Verarbeitung des Kalkes durch den Boden. Es ist bemerkenswert, daß die ursprünglich auf 7 in Chlorokallium eingestellte Stoffel, die nicht weniger als 102 da technisches Kalkhydrat je Hektar erhalten hatte, bis auf 8,1 abgeraten ist. Es ist zu hoffen, daß durch eine größere Reihe vergleichender Untersuchungen dieser Art weiterer Einblick in die notwendige Mindestkalkung und in die nötige Höhe der Kalkreserven gewonnen wird, die je nach Pflanzensart und Fruchtfolge dem Boden zu geben sind, um ihn während der Zwischenzeit, bis zur nächsten Kalkung, innerhalb eines erwünschten Reaktionsspiegels zu halten.

Tabelle 3.
Kalkdefizit.

Bezeichnungen der R.-Zahlen in $\%$, KCl und Wasser.

Stoffel Nr.	Ag ja ka Kalk- hydrat v. 200, 17%	Umrechner nach der Kalkung d. 18. 1928				Nach der Charakteristik d. 2. 29			
		R. Zahlen in		mg H-(10 000		R. Zahlen in		mg H-(10 000	
		$\%$, a KCl	Wasser	$\%$, a KCl	Wasser	$\%$, a KCl	Wasser	$\%$, a KCl	Wasser
0	8	4,1	5,2	784	83	4,17	5,28	878	88
1	12	4,5	5,5	317	33	4,37	5,50	437	33
2	21	4,9	5,7	138	20	4,59	5,73	391	19
3	30	5,3	6,2	80	9,3	4,79	5,96	199	12
4	39	5,6	6,5	33	5,3	5,03	6,17	93	5,5
5	48	5,7	6,8	20	3,3	5,23	6,38	47	7,9
6	57	5,9	6,7	10	2,9	5,43	6,59	37	6,0
7	66	6,2	6,8	6,2	1,4	5,63	6,77	30	4,3
8	75	6,5	6,9	3,2	1,3	5,79	6,97	30	3,4
9	84	6,7	7,1	2,0	0,9	5,77	6,97	17	2,7
10	88	6,8	7,2	1,6	0,6	5,90	6,97	88	1,9
11	100	6,9	7,2	1,3	0,6	6,07	7,07	9	0,6

Abb. 4. Verhalten der aktiven Reaktion der Kohlenstoffatome des Zellulosepolymeren.
 Tabelle Nr. 48-50 (Wiederholung 100000) gegen CO_2 und AlCl_3 .

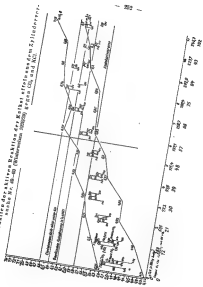
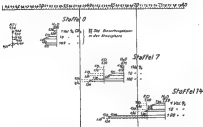


Tabelle 5 zeigt die Beziehungen der aktiven Reaktion zur Chlorkaliumzahl, einmal unmittelbar nach der Kalkung und dann die veränderte Lage der beiden Werte am 23. März 1928. Die Staffel 11 ist bei einer Reaktionszahl von 8,1 in Chlorkalium mit 7,1 aktiv neutral geblieben.

Abb. 11. Änderung der Reaktion der Aufschwemmung des Bodens in 1, n-HCl und Wasser durch CO_2 .



Untersuchung über den Einfluß gesteigerter Mengen Chlorkalium auf die aktive Reaktion: Zu den Eigenschaften, deren Ermittlung wünschenswert ist, gehört der Empfindlichkeitsgrad eines Bodens gegen reaktionsändernde Einflüsse. Es ist an sich bekannt, daß mit verschiedenen Konzentrationen der Chlorkaliumlösung bei der Aufschwemmung des Bodens auch verschiedene Reaktionszahlen erhalten werden. Uns lag daran, zu erfahren, wie sich die Reaktionsänderung gestaltet, wenn man verschiedene Konzentrationen so kurzfristig wie möglich auf die Bodenaufschwemmung in Wasser einwirken läßt. Aus den Untersuchungen wählen wir wiederum den Weizen-Staffelversuch aus. Bei der Prüfung wurde wie folgt verfahren: 5,0 g Boden wurden in 25 cm neutralem Wasser aufgeschwemmt;

nach dreistündiger Einwirkungsdauer wurde die aktive Reaktion bestimmt. Unmittelbar nach der Messung wurden in die bereitstehenden Röhren die gestaffelten Mengen der $\frac{1}{2}$ n Chloralkalilösung mit Burette hinzugefügt. 30 Tropfen entsprachen 1,0 ccm; 1 Tropfen also einer Lösung von rund 0,1%₁₀; 10 Tropfen dagegen rund 1,0%₁₀. Es gelang, die Messungen nach dem Zusatz in 2 Min. zu beenden. Das Ergebnis dieser vergleichenden Prüfung ist für 7 Staffeln in der Tab. 6 graphisch veranschaulicht.

Tabelle 6.

Einfluß verschiedener Mengen KCl auf die Reaktionen innerhalb 2 Minuten.

Zylinderversuch 48—50; Gieseler'ser Fräheisen 1934/35.

Staffel mit dt. Kaldehydrat je ha	Reaktion in pu und mgH ⁺ je 10 000 l				
	Anfangswert:		Rückstoß innerhalb 2 Minuten		
	pu	mgH ⁺	pu	mgH ⁺	mit KCl Menge
6 ohne Kalk	5,38	59,2	4,97	197,2	1 Tropfen = 0,1% ₁₀
			4,76	173,8	2 "
			4,67	213,8	3 "
			4,56	251,5	4 "
			4,41	289,0	5 " = 1,4% ₁₀
			4,28	324,9	10 " = 1 ccm
			4,28	324,9	20 "
			4,24	376,8	3 ccm
			4,24	376,8	3 "
			4,17	376,1	5 "
2 21 dt/ha Kaldehydrat v. 59,4% ₁₀	5,78	16,8	5,43	29,3	1 Tropfen
			5,40	39,5	2 "
			5,37	42,7	3 "
			5,43	59,6	4 "
			5,38	86,0	10 "
			5,38	89,1	20 "
			5,34	72,4	30 "
			5,38	99,2	3 ccm
			5,09	99,1	3 "
			5,09	99,1	5 "
4 29 dt/ha	6,13	7,4	5,94	11,5	1 Tropfen
			5,91	16,3	2 "
			5,76	17,4	3 "
			5,77	19,1	4 "
			5,67	26,0	10 "
			5,66	31,7	20 "
			5,45	35,5	30 "
			5,43	38,0	3 ccm
			5,37	42,7	3 "
			5,37	42,7	5 "

Stoffteil mit des Kalkhydrat je ha	Reaktion in pH und mgH ⁺ je 10 000 l				
	Anfangswert		Rückstoß innerhalb 7 Minuten		
	pH	mgH ⁺	pH	mgH ⁺	mit KCl Menge
6 57 ds/ha	6,77	1,7	6,34	3,3	1 Tropfen
			6,34	4,3	2 "
			6,34	5,3	3 "
			6,32	6,3	4 "
			6,35	7,1	10 "
			6,31	7,9	20 "
			6,30	10,0	30 "
			6,30	11,0	2 eom
			6,30	12,0	3 "
			6,27	13,0	5 "
8 75 ds/ha	6,77	1,7	6,35	3,3	1 Tropfen
			6,37	4,3	2 "
			6,39	4,1	3 "
			6,39	5,0	4 "
			6,39	6,0	10 "
			6,39	6,3	20 "
			6,33	8,0	30 "
			6,35	9,0	2 eom
			6,39	9,3	3 "
			6,35	7,1	5 "
10 35 ds/ha	6,74	1,3	6,73	1,3	1 Tropfen
			6,69	2,1	2 "
			6,69	3,0	3 "
			6,69	3,3	4 "
			6,44	3,0	10 "
			6,42	3,0	20 "
			6,42	3,0	30 "
			6,35	4,3	2 eom
			6,35	4,3	3 "
			6,30	5,0	5 "
11 102 ds/ha	7,00	1,0	6,99	1,4	1 Tropfen
			6,99	1,6	2 "
			6,97	1,8	3 "
			6,79	1,8	4 "
			6,74	1,8	10 "
			6,70	2,0	20 "
			6,68	2,0	30 "
			6,68	2,8	2 eom
			6,66	2,8	3 "
			6,58	3,0	5 "

Aus der treppenförmigen Anordnung ist zunächst ohne weiteres ersichtlich, wie die Kmpfindlichkeit des Bodens mit steigender Kalkstoffe sinkt. Besonders bemerkenswert sind dabei die Stoffe 6, 8 und 10. 6 und 8 weichen übereinstimmend die aktive Reaktionszahl 6,77 auf; Stoff 10 6,74;

dennoch kann über die Einordnung der Staffei nicht der geringste Zweifel bestehen, da die Wegstrecken unter dem Einfluß der verschiedenen Mengen der Chlorkaliumlösung durchaus verschieden sind. Noch deutlicher wird das Bild, wenn wir die relative Empfindlichkeit gegen Chlorkalium bei der Konzentration 0,1% und 1,0% derart miteinander vergleichen, daß wir den Rückstoß der Strecke nach darstellen, wie er sich aus der absoluten Differenz der mg/H ergibt (vergl. Tab. 6).

Tabelle 7.

Relative Empfindlichkeit gegen KCl-Konzentrationen: 0,1% und 1,0 %.

Messung innerhalb 2 Minuten.

Verschiebung der aktiven Reaktion in mg H/10 000 l.

Staffel	0,1 %	1,0 %
0	38	388
2	8,9	98
4	4,1	27
6	1,8	7
8	1,1	6,5
10	0,94	3,8
11	0,85	1,8

Nach diesen Ergebnissen ist es also möglich, die Böden ihrem Empfindlichkeitsgrad nach richtig einzustufen und dabei einen weiteren Einblick in das voraussichtlich biologische Verhalten zu gewinnen. Es ist beachtlich, daß in unserem Versuch der Weizen bis zur Staffel 4 besonders stark durch Frost gelitten hatte, während bei Staffel 8 dies nicht mehr der Fall war. Vergleichen wir in der Tab. 6 die Senkrechten, die bei 5,8 und 6,2 gezogen sind, so ist deutlich, daß von Staffel 6 ab bei den praktisch in Betracht kommenden Konzentrationen bis zu 1% höchstens der Grenzwert 6,2 erreicht wird, der Wert von 5,8 aber auch durch die höchste Konzentration von 5 cem % n Chlorkaliumlösung nicht erreicht wird. Wir befinden uns mit Staffel 8 demnach bereits in einer ziemlich sicheren Reaktionslage. Dies wird durch die Entwicklung des Weizens bestätigt.

Der Einfluß von Kohlensäure auf die Änderung der aktiven Reaktion: Von den Säuren, die im Boden in Betracht kommen, verdient die Kohlensäure

unsere allgeringste Aufmerksamkeit; der eine von uns hat sie als die wichtigste Bodensäure überhaupt bezeichnet. Wer sich mit der Messung der aktiven Reaktion eingehend beschäftigt hat, wird oft genug Gelegenheit gehabt haben, zu bemerken, daß es schwer ist, ganz übereinstimmende Werte zu erhalten. Schon bei der Durchbildung der kolorimetrischen Messungen fanden wir, daß vor allem diejenigen Böden eine größere Konstanz zeigten, die einen Sättigungsgrad mit Kalk bis dicht zum Neutralpunkt besaßen. Es war annehmbar, daß der Einfluß der Kohlensäure auf die Bodenmessungen, wie er beim Filteren von Bodenaufschwemmungen zur kolorimetrischen Messung unvermeidlich ist, im wesentlichen für die Änderung der aktiven Reaktion verantwortlich zu machen war. Zur Prüfung des Einflusses von CO_2 auf die Bodenaufschwemmung von 5,0 g Boden verfahren wir wie folgt: Zur Bodenaufschwemmung von 5,0 g Boden in 25,0 ccm neutralem Wasser fügten wir aus einem kleinen Gasometer von Glas sorgfältig gewaschene CO_2 , derart hinzu, daß wir durch eine Bodenaufschwemmung 5 Gasblasen CO_2 , entsprechend 8 mg, und zu einer zweiten Probe 20 Gasblasen, entsprechend 32 mg, durch die Flüssigkeit perlen ließen. Das Zuleitungsrohr wurde dann sofort vorsichtig entfernt, das Rührchen alsbald mit Kautschuktropfen verschlossen und wiederholt kräftig geschüttelt. Nach 1 Stunde wurde der Einfluß der CO_2 gemessen. Darauf wurde zunächst ein Tropfen $\frac{1}{2}\%$ n-Chlorkaliumlösung hinzugefügt, geschüttelt und innerhalb 2 Min. gemessen. Darauf wurden weitere 9 Tropfen $\frac{1}{2}\%$ n-Chlorkaliumlösung hinzugefügt, geschüttelt und abermals innerhalb 2 Min. gemessen. Die Ergebnisse dieser Untersuchungsreihen finden sich in Tab. 8.

Die ausgetragenen Linien entsprechen den Messungen in $\frac{1}{2}\%$ n-Chlorkalium und der aktiven Reaktion in neutralem Wasser. Ein Blick auf die Tafel zeigt, daß bis zur Staffel II sich die reaktionsändernden Einflüsse innerhalb der beiden Grenslinien bewegen; dagegen ist es überraschend, daß sich bei Staffel 10 und 11 die Reaktionsänderung bis unter die Chlorkaliumzahl herabgedrückt zeigt. Vergleichen wir den absoluten Einwirkungsgrad der CO_2 , so ist die große Empfindlichkeit der Bodenaufschwemmung gegen Kohlensäurezusatz in allen Fällen deutlich; ganz besonders aber beim sauren Boden der Staffel 5 und bei den niedrigsten Kalkstaffeln. Trifft

Tabella 8. Kalziumtitrimetrisch. Verteilen der titrierten Basen gegen CO_2 bei 30 Min. Einwirkungsdauer von 3 bzw. 12 mg und 1 g Basis + 25 cm Wasser. Danach werden KCl -Stab nach 2 Min. mit 1 Tropfen 0,1 KCl durch zweiter KCl -Stab durch. Man kann weiterhin 8 Tropfen 0,1 KCl und Messung wiederum innerhalb 2 Min.

Stationen	Ausgangswert in Wasser		CO ₂ Einwirkung 30 Min.				KCl-Stab						Basen in % z. KCl		
	3 mg		12 mg		10 Tropfen		1 Tropfen		10 Tropfen		1 Tropfen		12 mg CO ₂		in mg/l
	Ph	mg/l	Ph	mg/l	Ph	mg/l	Ph	mg/l	Ph	mg/l	Ph	mg/l	Ph	mg/l	
0	5,25	82	5,11	76	4,90	128	4,80	4,04	329	4,74	182	4,48	305	4,34	704
1	5,30	82	5,08	72	4,86	81	5,05	4,03	128	4,90	128	4,80	198	4,48	331
2	5,35	18	4,87	48	5,44	58	5,20	4,51	40	5,40	47	5,15	58	4,88	138
3	5,41	18	5,00	22	5,08	21	5,27	5,46	48	5,38	28	5,00	22	4,80	116
4	5,48	7,4	5,74	18	5,38	28	5,40	5,86	22	5,44	28	5,40	28	5,27	49
5	5,51	7,9	5,87	18	5,78	17	5,79	5,76	28	5,73	18	5,65	22	5,60	32
6	5,58	2,8	6,13	7,4	5,87	11	6,11	5,84	11	5,84	11	5,80	11	5,80	18
7	5,65	3,9	6,38	4,1	6,28	5,4	6,25	6,23	1,9	6,20	5,9	6,55	6,3	5,85	34
8	5,74	1,9	6,55	2,3	6,37	4,3	6,56	6,54	4,1	6,57	4,3	6,88	5,1	5,88	28
9	5,88	1,9	6,80	2,5	6,54	4,8	6,83	6,88	3,7	6,76	5,9	7,26	5,8	5,90	1,3
10	5,95	1,5	6,89	4,1	6,75	7,1	6,79	6,76	4,5	6,73	7,1	6,77	7,8	6,20	1,3
11	7,15	6,7	6,45	2,5	6,68	6,3	6,48	6,48	4,5	6,38	6,7	6,65	6,9	6,50	1,3

zu diesen Böden mit Basenmangel nach die Änderung der Salzkonzentration hinan, so erfährt die Reaktion einen weiteren Stoß in das saure Gebiet, ohne jedoch die Grenze der Chloralkallumkurve in $\frac{1}{2}$ n Chloralkallumlösung zu erreichen. Es ist in der Darstellung ferner zu bemerken, daß auch Beziehungen zwischen Kohlensäuremenge und der Chloralkallummenge vorhanden sind. Bei geringem Kohlensäurestoß tritt der Salzstoß stärker hervor; bei starkem Kohlensäurestoß dagegen erscheint der Salzstoß vermindert. Wir dürfen wohl annehmen, daß wir hierin einen Ausdruck für bestimmte Gleichgewichtslagen zwischen Basen und Kohlensäure zu suchen haben. Es handelt sich hier um Errechnungen, die wir auch bei einer Reihe anderer Böden in ähnlicher Weise beobachten konnten und über die später zu berichten sein wird. In der Tab. 8 sind noch verschiedene Grenzlinien eingetragen; bei 8,8 haben wir die Grenzlinie gezogen, bis zu der wir in der Praxis im allgemeinen einen Senkung des Kalkspiegels auf Grund unserer zahlreichen Erfahrungen noch für zulässig halten. Diese Grenzlinie bedeutet in der aktiven Reaktion die Begrenzung des Azotobakterwachstums im sauren Gebiet. Wir sehen, daß noch Staffel 8 durch den Einfluß von CO_2 , noch mehr durch den Einfluß von $\text{CO}_2 + \text{KCl}$, in Mengen, die praktisch in Betracht zu ziehen sind, unter die Wachstumsgrenze des Azotobaktens heruntergedrückt werden kann. Es beginnt also hier bereits das Gebiet der Unsicherheit im Bakterienleben oder unter Umständen die Gefährdung der Care. Bis zur Staffel 4 liegen sämtliche Böden unter diesem Grenzwert, und zwar genügt die Kohlensäure allein zu dem Reaktionsstoß in das gefährdende Gebiet.

Der senkrechte Strich zwischen Staffel 5 und 8 bedeutet also die Grenzscheide, an der der Boden unsicher wird, sofern er links liegt, d. h. im sauren Gebiet, oder noch sicher ist, sofern er rechts, d. h. mehr nach dem Neutralpunkt zu liegt. Ohne Zweifel stehen hier die Böden, die auch ackerbaulich schon unsere Aufmerksamkeit erfordern.

Von biologischen Gesichtspunkten geleitet und gestützt durch umfangreiche ackerbauliche Erfahrungen halten wir eine Kalkstüttung bis zur Reaktionszahl 8,2 in $\frac{1}{2}$ n Chloralkallum für erwünscht; ziehen wir diese Linie, so fällt der Boden der Staffel 8 wiederum in das Gebiet, das wir erfahrungsgemäß als relativ sicher bezeichnet haben, aber unsere Aufmerksam-

keit für die nähere Zukunft erfordert. Bei dieser Reaktionslage nähert sich der Boden aktiv bereits dem Neutralpunkt; auch die Pendelgrenze um die Reaktionszahl 7 ist durch zwei Linien gekennzeichnet (Abb. 8, Linie bei 6,2 und 6,6).

Durch eine weitere Linie bei der Reaktionszahl 6,4 ist der schon vor Jahren geäußerte Wunsch von Harald R. Christensen eingebracht, der dahin ging, es möge in Dänemark bald kein Boden mehr unter der aktiven Zahl 6,4 liegen. Die Darstellung zeigt, daß dieser Wunsch wiederum durch die senkrechte Linie unserer Staffei 5 und 6 begrenzt wird.

Nur Staffei II liegt vorübergehend in der Tat im überkalkten Gebiet; das Zurücksinken in eine erwünschte Reaktionslage ist aber bereits in Tabelle 5 gezeigt worden.

Bei der erwiesenen Wichtigkeit der Kohlensäure für die Änderung der aktiven Bodenreaktion hielten wir es für erwünscht, auch den Einfluß bei verschiedener Einwirkungszeit zu ermitteln; wir wählten dazu ebenfalls die Bodenproben aus dem Weizestaffelversuch. Experimentelle Anordnung wie folgt: Für jede Einwirkungszeit wurden zwei Rührchen unter den schon angegebenen Bedingungen vorbereitet, aber jeweils nach 5, 10, 15, 20, 25, 30 und 60 Minuten gemessen. Zu den nach 60 Minuten gemessenen Böden wurde außerdem zunächst ein Tropfen Chlorcalcium 1/1 z. hinzugefügt, danach Messung innerhalb zwei Minuten; hierauf Zusatz von weiteren neun Tropfen und wiederum Messung innerhalb zweier Minuten. Die Tabellen 9a, b und c zeigen in graphischer Darstellung das Ergebnis dieser Prüfungen, und zwar sind zur Darstellung nicht die Reaktionszahlen (pH), sondern die absoluten Werte in $mg\ H^+$ in 10 000 l dargestellt, weil das Bild die Größe der Wirkung in unmittelbarer Proportion veranschaulicht.

Tabelle 9 enthält die gefundenen Reaktionszahlen und die entsprechenden Wasserstoffionenkonzentrationen. Die graphische Aufzeichnung (9a, b, c) zeigt zunächst das Ansteigen der aktiven Zahl zum Neutralpunkt 7, der nur bei der Staffei II wenig überschritten wird. Staffeln 5 und 1 zeigen ausgesprochen deutlich, wie stark die Reaktionslage in so kalkarmen sauren Böden durch CO_2 allein herabgedrückt wird. Beide Staffeln zeigen ferner die große Empfindlichkeit gegen den Salnstoff; gleichzeitig aber wird sehr deutlich, wie schon 12 da Kalkhydrat je ha die Empfindlichkeit ungemein ver-

100 ft. Below surface of water
 at station 100 ft. below surface of water

100 ft. Below surface of water
 at station 100 ft. below surface of water

100 ft. Below surface of water
 at station 100 ft. below surface of water



mindern². Dies drückt sich sprunghaft bereits auch im Wachstum des Weizens aus. Staffel 2 und 3 liegen zwischen beiden Kohlenstoffmengen am gewissen Fudale. Je mehr wir uns einem höheren Reifeitigungsgrad nähern, um so deutlicher tritt die Aufnahmefähigkeit des Bodens für CO_2 zurück und um so geringer wird der Unterschied zwischen beiden Mengenverhältnissen. Auch hier wird von Staffel 8 ab, als der im Grenzgebiet liegenden Staffel, wiederum deutlich, wie von da ab die Widerstandsfähigkeit des Bodens gegen Reifeitigeränderung erreicht wird. Weder die verschiedenen Mengen Kohlenstoffe, noch die verschiedenen Salzkonzentrationen über von Staffel 7—9 einen stärkeren Einfluß aus. Wiederrum beachtlich ist, daß bei Staffel 10 und namentlich Staffel 11 der Einfluß der CO_2 wieder stärker wird bei Fehlen des Salzstoffes. Auch in diesen Tafeln sind die Werte für die Reifeitigerzahlen in $\frac{1}{2}$ n Chlorkalium mit eingetragen. Die Erwirkung von Kohlenstoffe und Chlorkalium bewegt sich hier bei Staffel 9 wieder innerhalb der Reifeitigerzahl in Wasser und der Reifeitigerzahl in $\frac{1}{2}$ n Chlorkalium. Bei Staffel 10 und 11 ist der Kohlenstoffeinfluß stärker als der Einfluß der konzentrierten Chlorkaliumlösung.

Wir könnten versucht sein, da wir diese Errechnungen nicht für zufällig halten können, biologische Gesetzmäßigkeiten hier zu suchen. Die große Empfindlichkeit des Bodens gegen CO_2 im sanersten Gebiet wird in der Natur nicht mehr in gleichem Maße vorhanden sein, da die Zersetzung der organischen Massen als Quelle der CO_2 in solchen Böden bekanntlich nur sehr langsam verläuft. Die Natur schützt sich hier also gleichsam vor zu starker „Selbstvergiftung“ und ermöglicht dadurch bestimmten Pflanzengemeinschaften noch eine längere Lebensdauer. An der Grenze des stickstoffigen Gebiets aber erhöht die CO_2 ihren abtötenden Einfluß; so es nun, daß dies durch stärkeren Abbau organischer Massen gestützt oder durch gesteigerte Sauerstoffbildung durch die gefördertsten Bakterien. Jedenfalls schützt die Natur auch hier ihre Pflanzenswelt vor zu stark stickstoffiger Reaktion und ihrem Nachteil, solange das Mikroorganismenleben noch genügende Reserven an organischem Kohlenstoff zum Abbau im Boden vorfindet. Jenseits dieser Grenze werden wiederum bestimmte Pflanzengemeinschaften auch diese Wandlungen auslösen, bis auch hier durch den Zutritt ungetränkter, zu stark stickstoffiger

[illegible]

Stahl	Abstei- ger	Anzahl in Stück 1-10 Stück 11-20 Stück 21-30 Stück 31-40 Stück 41-50 Stück 51-60 Stück 61-70 Stück 71-80 Stück 81-90 Stück 91-100	Rundungsplan der σ_{St} in Stunden										Stahl für Stück 1-10 Stück 11-20 Stück 21-30 Stück 31-40 Stück 41-50 Stück 51-60 Stück 61-70 Stück 71-80 Stück 81-90 Stück 91-100
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	0,25	10	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
	0,5	20	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
2	0,25	10	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
	0,5	20	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
3	0,25	10	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
	0,5	20	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
4	0,25	10	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
	0,5	20	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
5	0,25	10	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
	0,5	20	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
6	0,25	10	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
	0,5	20	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
7	0,25	10	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
	0,5	20	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
8	0,25	10	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
	0,5	20	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
9	0,25	10	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
	0,5	20	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
10	0,25	10	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
	0,5	20	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
11	0,25	10	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
	0,5	20	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
12	0,25	10	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
	0,5	20	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

*) Aus: 1 Tagelohn eines Mannes, der während eines Tages mit 1 Tagelohn arbeitet.

Reaktion des Pflanzensiches beeinflusst wird. Ein solches Beispiel ist uns begegnet. Die dargelegten Anschauungen finden durch die Beobachtungen in der Praxis ihre Bestätigung. Übermäßig kalte oder zu warme Acker (von Haus aus oder überkalt) werden fruchtbarer durch Steigerung der Bewirtschaftung mit organischem Kohlenstoff. Auf der anderen Seite nutzt diese Steigerung nichts oder wird schädlich von gewissem Grade der Kalkverarmung ab. Zwischen beiden Endpunkten finden wir biologische Gleichgewichtslagen und ein Gebiet, in dem bei richtiger Bodenbewirtschaftung das wichtigste Ziel des Ackerbauers, das Getreide, was von selbst entsteht. Das hier waltende Zusammenhänge durch weitere Forschung klären zu helfen, halten wir für unsere wichtigste Aufgabe. Auch Zweck und Bedeutung der Reaktionsmessung wird durch diese Gedankengänge klarer hervortreten. Es ist einseitig und falsch, die Reaktion nur als einen Wachstumsfaktor für die höheren Kulturpflanzen aufzufassen und das womöglich noch ohne Klarheit darüber, daß es bei der Feststellung der aktiven Reaktion immer darauf ankommt, diese im frischen feigen Boden zu messen, wenn wir sie für die Beurteilung der Abhängigkeit des Pflanzensiches von ihr gebrauchen wollen. Der Boden verändert mit dem Trocknenwerden ganz naturgemäß seine aktive Reaktion; hierüber wird später zu berichten sein. Die Chloralkalimenge selbst aber kann uns diesen Einblick überhaupt nicht unmittelbar gewähren, da, wie wir sahen, die biologischen Vorgänge sich in Reaktionslagen oberhalb dieser Zahl abspielen, wenn auch die aktive Reaktion in gewissen Beziehungen zur Chloralkalimenge selbst steht. Zur Beurteilung biologischer Vorgänge genügt es nicht, die aktive Reaktion einer Bodenprobe einmal zu messen, sondern ihre Pendelweite während der Wachstumsperioden muß festgestellt werden. Auch hierüber liegt bereits eine Reihe von Untersuchungen vor, die wir aber noch über ein zweites Jahr ausdehnen wollen, ehe wir sie bekanntgeben.

Um für unsere späteren Veröffentlichungen auf dem Gebiete der Kohlenstoffsäure noch den Anschluß zu geben, schließen wir mit einer Tabelle (10) über den Einfluß verschiedener Sättigung der die Bodenaufschwemmungen umgebenden Atmosphäre auf CO_2 auf die Änderung der Reaktion der Bodenaufschwemmung in neutralem Wasser und % n Chloralkalimenge. Die nähere Beschreibung und Dar-

Stellung zahlreicher Beispiele müssen wir uns ebenfalls vorbehalten. Zur Erläuterung noch so viel, daß wir bei diesen Untersuchungen die Kohlensäure nicht durch die Bodenaufschwemmungen leisteten, sondern die Bodenaufschwemmungen in geeigneten Reaktionsröhren mit Luft von 1 und 10 Vol-% Kohlensäure sättigung und mit reiner CO_2 umgaben.

Tabelle 10

Änderung der Reaktion bei Aufschwemmung des Bodens in $\frac{1}{2}$ n KOH und in Wasser durch CO_2 in der umgebenden Atmosphäre mit 1 Vol-%, 10 Vol-% und 100 Vol-% CO_2 -Gehalt

Dargestellt an 5 Kalksteine von einem kalkigen Sandboden

Stoffel	5		7		14	
	$\frac{1}{2}$ n KOH	Wasser	$\frac{1}{2}$ n KOH	Wasser	$\frac{1}{2}$ n KOH	Wasser
	Pg. mgK	Pg. mgK	Pg. mgK	Pg. mgK	Pg. mgK	Pg. mgK
Anfangspunkt	4,45 398	5,10 48	6,30 6,0	0,75 1,9	7,200,30	7,180,30
1 Vol %	34 Std. 4,48 372	5,10 52	6,18 6,0	0,68 1,3	7,080,30	7,180,30
	72 Std. 4,43 359	5,10 54	6,18 7,1	0,70 1,9	7,040,31	7,180,30
10 Vol %	34 Std. 4,48 373	5,10 59	6,08 11,0	0,61 3,1	6,980,3	7,140,30
	72 Std. 4,47 358	5,10 61	6,08 11,0	0,57 4,0	6,900,3	7,120,70
100 Vol %	34 Std. 4,47 358	5,07 65	6,74 18,3	0,10 7,0	6,800,3	6,67 3,0
	72 Std. 4,39 426	5,10 76	6,74 18,3	0,00 11,0	6,800,3	6,38 4,0

Auch diese graphische Darstellung zeigt die Empfindlichkeit der Bodenaufschwemmung gegenüber der Kohlensäure-sättigung der umgebenden Luft, auch bei Konzentrationen, wie sie im Boden selbst praktisch vorkommen. Auch hier ist uns das alkalische Gebiet besonders wichtig, gelangt es doch z. B. mit einer Atmosphäre von einem Vol-% CO_2 -Gehalt, die aktive Reaktion von 7,6 auf 7,5 herabsinken; d. h. wiederum nichts anderes, als ein Beweis auf anderem Wege, daß es möglich ist, so alkalisch gewordenen Acker wieder durch eine Pflanze mit organischem Kohlenstoff wiederherzustellen (Ürproduktion mit Holzeinfichten).

So haben zwei Fragen auch schärfer als je aus unseren Untersuchungen für den praktischen Ackerbau heraus: Die rationelle Bewirtschaftung unserer Ackerböden mit Kalk und ihre entsprechende Versorgung mit organischem Kohlenstoff. Acker, die wir, gestützt auf diese bodenkundlichen Grundlagen, ins Gleichgewicht gebracht haben, werden fruchtbar sein!!

Erfahrungen über Bestimmung des Kalkbedarfs und Beeinflussung des Sättigungszustandes von Ackerböden.

Von Dr. E. Frenn, Berlin-Dahlem

Aus dem Laboratorium für praktische Bodenbakteriologie an der
Biologischen Reichsanstalt für Land- und Forstwirtschaft in Berlin-
Dahlem, Vorsteher Regierungsrat Dr. Behn.

Die folgenden Ausführungen sind Fortsetzungen von
Untersuchungen, die in den letzten Jahren von Reg.-Rat Dr.
Behn und mir an der Biologischen Reichsanstalt für Land-
und Forstwirtschaft in Berlin-Dahlem ausgeführt worden sind.
Es sollte dabei erwähnt werden, welche besonderen Eigen-
schaften des sauren Ackerbodens zu Störungen des normalen
Wachstumsverlaufs mancher Nutzpflanzen Veranlassung geben.

Diesem Ziele entsprechend wurden an den Untersuchun-
gen nach anfänglicher Bearbeitung von normalen Ackerböden
Bodenproben benützt, die von sogenannten stärkekranken
Böden zu einer Zeit entnommen waren, wo das Aussehen
der jeweils angebauten Kulturpflanzen deutliche Rückschlüsse
auf eine für den Ackerbau erwünschte oder nicht erwünschte,
im folgenden als gesund oder krank bezeichnete Beschaffen-
heit des Ackerbodens zuliess.

Da wir von vornherein der Ansicht waren, daß die Stärke-
krankheit kaum auf eine Einzelursache zurückzuführen,
sondern vielmehr sich als ein Komplex von unendlich auf-
einander verknüpften chemischen, physikalischen und biolo-
gischen Veränderungen erweisen würde, wurden die kranken
und gesunden Vergleichsproben nach verschiedenen Richtungen
untersucht.

Unsere Untersuchungen waren also nicht nach einer
Richtung spezialisiert, sondern es lag uns vielmehr daran,
möglichst viele verschiedene Bodeneigenschaften festzulegen,

um zu ermitteln, ob auch für eine oder mehrere von diesen typische Unterschiede zwischen gesunden und kranken Böden ergeben wurden. So kommt es, daß wir uns im allgemeinen für jede Bodeneigenschaft mit einer gebräuchlichen Methode begnügen und nicht darüber hinaus auf den Vergleich von verschiedenen Methoden Wert legen. Da jedoch verschiedene von den ermittelten Bodeneigenschaften auch zur Bestimmung des Kalkbedarfs Verwendung finden, können in dieser Richtung nach unseren Ergebnissen methodische Vergleiche angestellt werden, obwohl die Untersuchungen nicht von vornherein auf den Vergleich von Kalkbedarfsmethoden abgestimmt waren. Somit hatten wir z. B. für die Bestimmung des Sättigungsgrades mehrere von den dafür in Vorschlag gebrachten Methoden herangezogen, wir haben uns mit einer, und zwar der Gehring-Methode begnügt, die deswegen gewählt wurde, weil sie bisher am meisten durch praktische Erfahrungen und Erfolge gestützt war. Nachdem nun in letzter Zeit von Kappen und seinen Mitarbeitern die Verwendungsmöglichkeit der bei Ermittlung der hydrolytischen Acidität gewonnenen Zahlen zur Bestimmung des Kalkbedarfs wiederholt dargelegt worden ist, stehen uns die bei Bestimmung der Austauschacidität, der hydrolytischen Acidität, der potentiometrischen Titration und des Sättigungsgrades gefundenen Analysenwerte als Vergleichsmaterial für den Kalkbedarf der von uns untersuchten Böden zur Verfügung. Es handelt sich bei den in den Vergleichen herangezogenen 58 Feldböden in der Mehrzahl der Fälle um leichte Sandböden mit einem im allgemeinen geringen Gehalt an organischen Stoffen; er bewegt sich in 72 Fällen unter 1,5%, in den restlichen 21 Fällen zwischen 2,5 und 4,5%.

Als Vergleichszahlen und mit Vorbedacht an Stelle der zur Berechnung des Kalkbedarfs führenden Analysenwerte die aus ihnen berechneten Kalkmengen zum Vergleich benutzt worden, weil auch aus ihnen am besten unmittelbar auf Art und Größe der Abweichungen der einzelnen Methoden voneinander schließen läßt. Es kann so ohne weiteres abgelesen werden, wie weit Methoden, die theoretisch das gleiche Ziel erreichen wollen, in den dafür aufgewandten Mitteln, also dem Kalkverbrauch, voneinander abweichen oder übereinstimmen; für den Fall der Übereinstimmung ist die praktische Brauchbarkeit wesentlich gestützt.

Wie verhalten sich nun die nach den genannten Methoden ermittelten Kalkbedarfszahlen zueinander, und wo ist Ausweichung oder Überschätzung festzustellen?

Von den hier zum Vergleich herangezogenen Methoden muß die Berechnung des Kalkbedarfs nach Daikuhara die kleinsten Zahlen liefern, denn mit der Beseitigung der Austauschsaure ist erfahrungsgemäß die neutrale Reaktion nur in seltenen Fällen erreicht.

Wie die Zahlen der Tabelle zeigen, wird der aus der Austauschsaure berechnete Kalkwert in der Tat in allen Fällen von all den Zahlen übertroffen, die sich der Erreichung des Neutralpunktes zum Ziel machen. In 92,5% der Fälle liegt auch der aus der 40%igen Sättigung errechnete Kalkwert über dem Daikuhara-Kalkwert, im Rest der Fälle stimmt er annähernd mit dem überein. Dadurch ist einmal die Gehring'sche Beobachtung belegt, daß bei 40%iger Sättigung auf Sandböden die Austauschsaure verschwunden ist. Ferner läßt sich daraus schließen, daß im allgemeinen mit Versäuerung der der Austauschsaure entsprechenden Kalkmenge Neutralität nicht zu erreichen ist, denn im allgemeinen soll ja nach Gehring Neutralität auf Sandböden erst bei 40%iger Sättigung eintreten.

Nach unseren Zahlen scheint es allerdings, als ob auch mit der zur 40%igen Sättigung errechneten Kalkmenge nur in einem kleinen Teil der Fälle Neutralität erreicht werden könnte, da der aus der potentiometrischen Titration bei $pH = 7,2$ errechnete Wert in 80,5% der Fälle über dem der 40%igen

Tabelle 1

Vergleichende Zusammenstellung einiger nach verschiedenen Methoden ermittelten Kalkbedarfszahlen

LaS-Nr.	Bedarf an $CaCO_3$ in kg pro ha berechnet nach				Organ. Subst. %		
	Dufrenoy	Hydrof. Acid. mit Faktor 4,5	Hydrof. Acid. mit Faktor 5,7	Potentiomet. Titration bei $pH=7,2$			
1a	13,76	28,79	37,69	20,92	27,12	55,22	1,42
1b	8,88	18,99	25,04	24,76	18,87	28,37	1,45
2a	14,87	31,90	40,90	24,96	—	—	1,30
2b	6,9	6,52	7,12	6,6	4,06	21,67	1,28

Lab. Nr.	Redukt an CaCO_3 in die pro ha berechnet nach					Organ. Subst.	
	Decker- haare	Hydrol. Acid. mit Faktor 4,6	Acid. 5,7	Pektinase Titeration haar (m. 0,6)	Oeföring bei Sättigung 40% 70%		
Im 54 b	0,0	34,00	31,00	26,37	0,0	28,40	4,28
Jab 6	1,33	26,00	31,00	14,00	0,0	15,40	2,57
7	1,33	22,00	41,04	18,00	0,0	17,20	2,88
8	10,42	30,00	40,74	37,20	20,37	24,24	2,14
10	11,00	31,00	40,47	18,00	24,37	47,00	2,02
Nov 20 a	7,87	31,00	36,54	—	30,00	70,00	Mittel- wert = 2,3
b	4,77	40,00	31,37	—	34,00	75,10	
c	3,18	30,00	40,74	—	32,47	68,00	
d	0,70	30,00	40,00	—	31,00	61,00	
e	0,0	25,15	16,00	—	19,00	47,00	
f	0,00	17,00	30,00	—	12,00	37,00	
27 a	10,10	40,00	30,10	—	30,00	70,40	
b	12,00	47,00	50,00	—	30,00	60,00	
c	0,02	44,00	50,00	—	34,00	64,00	
d	0,71	40,00	50,00	—	28,00	60,00	
e	0,00	20,00	30,00	—	0,00	50,00	
f	0,04	31,00	30,00	—	0,0	30,70	
28 a	7,87	40,00	30,14	20,00	40,00	70,10	
b	3,87	30,70	40,00	20,00	20,00	71,17	
c	0,18	40,00	50,70	24,00	30,00	60,40	
d	0,10	37,00	30,04	18,40	0,0	30,77	
e	0,0	21,70	20,70	10,00	1,07	40,00	
f	0,10	22,00	20,07	21,00	0,00	40,00	
500	20,0	37,0	70,0	40,1	40,0	60,0	1,80
501	18,0	37,0	60,00	30,0	40,04	60,0	2,77
502	20,0	33,0	77,0	44,0	50,10	61,0	2,00
503	20,0	70,4	21,7	40,0	40,1	60,0	0,70
504	20,0	60,70	30,0	40,1	50,0	60,0	2,00
505	0,0	37,0	70,4	20,0	20,0	70,0	2,01
506	18,0	30,0	70,0	30,7	34,0	61,0	1,84
507	0,0	40,0	60,0	30,4	70,0	64,4	1,80
508	33,0	40,0	60,1	30,0	40,0	61,4	1,80
509	1,0	30,0	40,7	10,0	0,0	0,10	1,80
510	30,0	70,0	30,0	20,0	47,0	60,0	0,44
511	10,4	60,0	70,0	30,0	51,0	60,7	1,40
512	20,7	30,0	104,0	30,4	50,0	61,7	0,90
513	20,7	30,0	70,0	30,4	37,4	61,4	1,00
514	20,1	60,0	70,0	30,0	37,4	60,4	0,90
515	22,1	44,0	60,4	20,0	20,0	61,0	1,00
516	22,4	37,0	70,00	44,0	30,0	70,0	1,07
517	10,0	60,0	70,7	40,0	30,4	60,0	1,70
518	77,0	70,0	60,0	30,4	27,0	64,0	0,60
519	10,0	60,0	110,0	60,0	30,0	71,0	0,90
520	30,1	60,0	37,0	30,0	40,0	120,0	0,90
521	77,0	61,0	70,1	30,0	20,0	70,0	2,07

Vergleich des Größenverhältnisses der nach verschiedenen Methoden am Feldboden ermittelten Kalkbedarfswerte

Die Prozentzahlen sind durchschnittlich aus etwa 50 Vergleichsböden errechnet, die für den Faktor 2,5 und die 100% Sättigung angesehen als 50 Vergleichsböden

Der Kalkbedarf, errechnet nach Methode	ist größer als Kalkbedarf, errechnet nach Methode	in % der Vergleichsböden
40 % Sättg. (Sättigung)	Dunkelschwarz	92,8. Best. amphoteres Eisen- oxynitrat
Faktor 4,5 (2 1,5) (Hydrolyt. Acid.)	Titrations (Ph = 7)	92,8. (+ 17 amphoteres alkalisches. Fällg.)
40 % Sättg.	Faktor 4,5	92,8
Faktor 4,5	40 % Sättg.	92,8
Faktor 4,5	70 % Sättg.	100,0
Faktor 2,5 (2,5 1,5)	Titrations	79,2 (+ 12 amphoteres alkalisches. Fällg.)
Faktor 2,5	40 % Sättg.	100
Titrations	40 % Sättg.	92,8
70 % Sättg.	Titrations	71,4 (+ 26,8 amphoteres alkalisches. Fällg.)
70 % Sättg.	Faktor 2,5	94,4
Faktor 2,5 (2,5 1,5)	70 % Sättg.	92,8
Faktor 2,5	100 % Sättg.	92,8

Sättigung liegt Da ja das nach der potentiometrischen Titration bis zu einer bestimmten Reaktion errechnete Kalkmenge disponiert ist, die im günstigsten Falle nur der der Berechnung zugrunde gelegten Reaktion folgen kann, reicht also für die uns vorliegenden Böden die Kalkmenge bis zur 40%igen Sättigung nur zu etwa 50% der Fällg. aus, um Neutralität zu erreichen. Es wird also nicht möglich sein, diesem Faktor, der zuverlässig Berechnung der Ammoniumsalze gewöhnlich, für die Berechnung der Neutralität allgemeine Gültigkeit anzusprechen.

WeSENTLICH günstiger stellt sich das Verhalten zu dem bei der potentiometrischen Titration bei $pH = 7,5$ gefundenen Wert für den Faktor 4,5, der nach den Kappen'schen Untersuchungen durch Multiplikation mit dem bei der hydrolytischen Anhydrit gefundenen Titrationswert die zur Neutralisation erforderliche Kalkmenge angeben soll. In etwa 74% aller

Fälle ist der so errechnete Kalkwert ebenso groß oder größer als der potentiometrische Titrationswert. Gleichsam ist der Vergleich dieser Kalkwerte mit dem der 40%igen Sättigung ein weiterer Beweis dafür, daß die 40%ige Sättigung im allgemeinen nicht ausreichen würde, um Neutralität zu erzielen, denn in 91,94% der Fälle liegt die Kalkmenge der 40%igen Sättigung unter derjenigen des Faktors 4,5 zurück. Das aus der 70%igen Sättigung errechneten Kalkmengen liegen dagegen in der Mehrzahl aller Fälle über denen des Faktors 4,5 und es ergibt sich daraus die interessante Bemerkung, daß die Kalkmengen des Faktors 4,5 in 91,9% aller Fälle zwischen den Kalkmengen der 40%igen und 70%igen Sättigung liegen, teils nach oben, teils nach unten verschoben.

Da nun G e h r i n g nach seinen bisherigen Erfahrungen annimmt, daß die Spanne zwischen der 40%igen und 70%igen Sättigung fast stets die Möglichkeit von Höchsterträgen einschließt, was für den Vegetationsversuch die Untersuchungen von K a u f m a n n bereits bestätigt haben, scheint uns die aus der hydrolytischen Acidität mit Hilfe des Faktors 4,5 errechnete Kalkbedarfszahl besonders bedeutungsvoll. Sie wurde in fast allen Fällen die Möglichkeit geben, den Boden auf einen, wenn auch nicht optimalen, so doch nach praktischen Erfahrungen günstigen Kalkzustand zu bringen.

Der Spielraum zwischen den Kalkwerten der 40%igen und 70%igen Sättigung ist allerdings unter Umständen nicht unbeträchtlich. Eine Annäherungsmethode erscheint aber so lange berechtigt, als auch die anderen mit großem für ein Untersuchungslaboratorium kaum tragbarem Zeitaufwand arbeitenden Methoden praktisch nicht die genaue Einstellung auf einen theoretisch berechneten Sättigungsgrad zu erreichen vermögen, wie nachher noch darzulegen sein wird.

Daß theoretisch aus der hydrolytischen Acidität jeder Sättigungsgrad bestimmt und im Laboratoriumsversuch erreicht werden kann, hat kürzlich K u t s c h i n s k y gezeigt. Es war nach nicht anders zu erwarten, denn nach den ebenfalls erst vor kurzem von G o y angestellten Untersuchungen kann u R kein Zweifel darüber sein, daß die bei der Bestimmung der hydrolytischen Acidität bestimmte Säuremenge der Menge Basen entspricht, die insgesamt chemisch oder physikalisch vom Boden festgelegt werden können; es handelt sich ebenso wie bei der sogenannten „Pufferung“ um einen kombinier-

Neutralisations- und Absorptionsvorgang. Dementsprechend wird der Umrechnungsfaktor natürlich bei den einzelnen Bodentypen eine verschiedene Größe annehmen müssen und außerdem bei der komplexen Natur der bei der Kalksättigung wirkenden Vorgänge auch bei gleichen Böden nicht immer denselben Erfolg verborgen können. Für Sandböden scheint uns die Brauchbarkeit des Faktors 4,8 außer durch die von uns ermittelte Beziehung zur Neutralisation durch die günstige Lage zu den Gehring'schen Sättigungswerten bedeutend zu gewinnen, vor allem deswegen, weil dadurch eine Beziehung zu Zahlen geschaffen ist, deren praktische Bedeutung durch Feldversuche belegt ist.

Zu den anderen Faktoren ist zu bemerken, daß die Kalkmenge der 70%igen Sättigung in 93,3% aller Fälle nahezu oder über der potentiometrischen Titrationsemenge liegt, also fast immer neutrale Reaktionen zu erreichen imstande ist. Die Ausnahmen bestehen noch vorwiegend auf die wenigen in den Vergleich aufgenommenen Böden mit einem höheren, etwa 3 bis 4,5%igen Gehalt an organischen Stoffen.

Für die Erreichung der 40%igen Sättigung kann in allen Fällen der früher von K a p p e n zur vollen Basensättigung angegebene Faktor 5,7 benutzt werden, der außerdem in 88,8% der Fälle über dem potentiometrischen Titrationswert liegt, also Neutralität erreicht. Daß dieser zwischen von K a p p e n aufgeführte Faktor bezüglich der ursprünglich damit angestrebten Erreichung der vollen Basensättigung nicht angewandt hatte, geht deutlich daraus hervor, daß die aus ihm ermittelte Kalkmenge selbst hinter derjenigen der 70%igen Sättigung in 94,4% der Fälle zurückbleibt.

An Stelle des Faktors 5,7 ist bekanntlich von K a p p e n ein anderer Faktor angegeben und von Kutschinsky im Laboratoriumsversuch praktisch nachgeprüft worden. Zur Erreichung der pro Hektar zur vollen Sättigung notwendigen Kalkmenge in die CaCO_3 wäre der von Kutschinsky verwendete Faktor 6,5 mit 1,5 zu multiplizieren, der Gesamtfaktor würde also 9,75 betragen.

In 53 Vergleichsfällen haben wir die nach diesem Faktor errechnete Kalkmenge mit der aus der 70%igen und der 100%igen Sättigung nach Gehring errechneten verglichen. Es ergibt sich daraus, daß in 90% der Fälle die zur 70%igen

Sättigung und in 88% der Fälle die zur 100%igen Sättigung errechneten Kalkmengen durch den auf dem Faktor 0,75 ermittelten Kalk überschritten werden.

Nach unseren Zahlen erfahren demnach die von uns geprüften Kalkbedarfsmethoden durch ihren Vergleich eine gegenseitige Stütze, although quantitative Übereinstimmung zwischen den Kalkmengen, die aus verschiedenen nach dem gleichen Ziel strebenden Methoden errechnet sind, nur in einem kleinen Teil der Fälle besteht. Denn trotz der bestehenden Abweichungen geben gemessen an der potentiometrischen Titration als Standardmethode die von Kappen und Gehring gegebenen Faktoren bzw. Sättigungsprozente in der Mehrzahl der Fälle selbst auf leichten Sandböden mit geringer Absorptionskraft die Möglichkeit, die zu einem bestimmten Zweck gewünschte Kalkmenge zu errechnen.

In der Mehrzahl der Fälle ist die auf 40%ige Sättigung berechnete Kalkmenge zur Beseitigung der Austauschsaure, die aus der hydrolytischen Acidität mit dem Faktor 4,5 und die auf 70%ige Sättigung berechnete zur Erreichung der Neutralität und die mit dem Faktor 0,75 errechnete zur Erreichung der 100%igen Sättigung theoretisch zuverlässig geeignet. Dabei erscheint die einfache Methode der Kalkbedarfsbestimmung durch Umrechnung der bei der Bestimmung der hydrolytischen Acidität gewonnenen Titrationszahlen ebenso brauchbar, wie die umständlichere Gehring-Methode. Die Ursache der zwischen gleichgerichteten Methoden bei der Kalkberechnung auftretenden Differenzen muß zum Gegenstand weiterer Untersuchungen gemacht werden.

Durch eine Reihe von Versuchen ist erwiesen, daß im Laboratoriumsversuch die zur Beseitigung der Austauschsaure, zur Erreichung der Neutralität oder eines bestimmten Sättigungsgrades errechneten Kalkmengen in der Tat den gewünschten Erfolg herbeiführen vermögen. Im Gefüßversuch waren in vielen Fällen die errechneten Mengen nicht ausreichend; dabei sei u. a. an die Mitteilungen von Kappen und Belling, Knackmann, Karate und Lemmermann erinnert. Noch ungünstiger stellen sich die quantitativen Wirkungsergebnisse des Kalkes im Feldversuch, da ja der Kalk im Boden unter ungünstigeren Lösungsbedingungen steht und außerdem der gelöste Kalk nicht restlos der Neutralisation und Absorption zuteil gemacht werden kann.

Es war deshalb wünschenswert, daß mehr als bisher der Kalkdiversuch in den Vordergrund gerückt wurde, um so mehr, als nicht nur die chemischen, sondern auch die pflanzenphysiologischen Ergebnisse der Vegetationsversuche bekanntermaßen nur mit starker Einschränkung zu erwarten sind. Die Bewandkraft einer Kalkwirkung wird naturgemäß stark herabgedrückt, wenn man nicht, daß schwer durchdranker Boden ohne jede sonstige Behandlung lediglich durch Überführung in Gefäße voll ertragsfähig gemacht werden kann, eine Beobachtung, die wir ebenso wie Lemmermann mehrfach bei unseren Vergleichen kranker und gesunder Böden machen konnten.

Eine gute Möglichkeit, die verschiedene Auswirkung des Kalkes im Laboratoriumsversuch im Vergleich zum Felde zu beobachten, gab eine in einer mecklenburgischen Wirtschaft auf einem kleinen Feldstück verebentlich gegebene Kalkung von 100 dafu, die zuerst der Probensahme ein halbes Jahr auf den Acker eingewirkt hatte. Sie hatte vom Herbst bis zum Frühjahr die Reaktion von $pH = 4,35$ auf $5,57$ heraufgesetzt. Die Austauschrate war vollkommen beseitigt, sie betrug auf dem ungekalkten Stück 10,35, auf dem gekalkten dagegen nur 0,65.

Im Laboratoriumsversuch war eine bedeutend stärkere Wirkung des Kalkes zu verzeichnen:

CaCl ₂ - konzentration in dafu	pH	Durchlässigkeit					
		1 Tag	1 Tag	1 Tag	1 Tag	1 Tag	1 Tag
0	pH	4,27	4,58	4,56	4,56	4,56	4,56
50		5,59	5,45	5,55	5,55	5,57	5,55
80		5,55	5,55	5,71	5,75	5,66	7,00
90		5,17	5,55	5,75	5,75	7,00	7,00
100		5,55	5,55	5,55	5,75	7,00	7,00

Es war schon nach 2 Tagen mit der 50 da entsprechende Kalkmenge annähernde und mit der 80 da entsprechende Menge nach 7 Tagen völlige Neutralität erreicht.

Weiteren Aufschluß über die Beeinflussung der Bodenreaktion und des Sättigungsgrades des Ackerbodens durch steigende Kalkgaben gibt ein auf leichtem Sandboden mit einem Durchschnittsgehalt von 2,3% an organischen Stoffen in einer mecklenburgischen Wirtschaft angelegter Kalkversuch.

Das Versuchsfeld war 34 ar groß und in 34 gleiche Teile geteilt. Der Versuch wurde in vierfacher Wiederholung mit

den aus der Tabelle ersichtlichen Kalkmengen durchgeführt. Die Analysen Zahlen und Mittelwerte von je 4 gleichbehandelten Parzellen. Das Kalkung wurde nur einmal im Frühjahr 1926 als feinstgemahlener kohlensäurer Kalk gegeben, in jedem Jahre erhielt der Versuch normale Volldüngung. Die Bodenprobenahmen erfolgten jeweils bei der Ernte. Das Krotengewichte 1926 und nicht angegeben, weil auch die Wägung aus wirtschaftstechnischen Gründen nicht möglich machen ließ, bestand war der Versuch 1926 mit Kartoffeln.

Auswirkung des Kalkes in einem dreijährigen Kalk-Feldversuch (1926—1928)

Kalkgabe kg/ha (als CaCO ₃)	Ertrag in dt Frucht/ha		Krotgrd			pH-W			CaCO ₃ -Gehalt im 100 g Boden		
	1926	1927	1926	1927	1928	1926	1927	1928	1926	1927	1928
0	37,10	55,66	5,15	5,19	5,45	4,99	4,99	4,94	15,5	5,19	5,96
10	42,48	67,39	5,55	5,39	5,67	4,93	4,99	4,93	15,5	5,19	5,96
20	55,58	74,75	5,36	5,45	5,91	4,95	4,97	4,99	16,5	5,19	5,48
30	54,55	68,37	5,21	5,55	5,55	4,94	4,76	5,77	17,55	12,75	16,15
40	59,07	75,19	5,55	5,55	5,55	4,95	5,21	5,79	14,45	17,55	17,38
100	65,04	74,81	5,45	5,41	5,99	4,97	5,95	5,97	11,5	19,5	25,5

Kalkgabe kg/ha (als CaCO ₃)	Austauschwert nach Kalkungsmenge (in 100 g mit 0,5)			Krotgrd. nach 100 g Boden (in Prozent)			Stärkeprozentsatz nach 100 g Boden		
	1926	1927	1928	1926	1927	1928	1926	1927	1928
0	5,15	5,56	5,55	11,5	10,5	10,5	5,55	5,51	5,54
10	5,55	5,45	5,45	9,1	10,5	9,5	5,55	5,45	5,55
20	5,15	5,55	5,15	9,1	9,5	9,5	12,55	17,55	21,55
30	5,45	5,45	5,55	9,5	9,7	9,7	22,55	14,54	16,55
40	5,5	1,95	5,7	9,7	9,5	9,95	21,55	16,55	16,55
100	5,45	5,55	5,55	9,5	9,5	9,1	22,45	16,55	16,51

Die Reaktionsverhältnisse sind durch die Kalkung deutlich beeinflusst, ebenso der Krotsertrag. Das nach Beckmann zur Berechnung der Austauschwerte errechnete Kalkmenge (siehe Tab. 1, KvJ 26-a) von 7,27 dt hat im ersten Jahre nicht ausgereicht, die gewünschte Wirkung zu erzielen, hat die Austauschwerte aber noticeably deutlich herabgesetzt, ihre volle Beseitigung gelang jedoch erst durch die etwa fünfache Menge.

Die aus der hydrolytischen Ansichts mit dem Faktor 4,5 zur Neutralisation errechnete Kalkmenge beträgt 52,75. Die genau den Faktoren entsprechenden Kalkmengen sind nicht gegeben worden, da der Versuch nicht zur Prüfung der Methoden angelegt war. Die etwas höhere Menge von 60 dz hat zwar noch nicht völlig, aber doch annähernde Neutralität, außerdem im 3 Jahre 42,8% Sättigung erreicht.

Wenn die zur 40%igen Sättigung errechnete Kalkmenge von 52,8 dz zur Anwendung gekommen wäre, hätte man im ersten und zweiten Versuchsjahr die gewünschte Sättigung nicht herbeiführen können, denn die Menge von 60 dz hat dazu nicht ausgereicht; selbst die zur 70%igen Sättigung notwendige Kalkung von 75,52 dz wäre zu gering gewesen. Ob im 3 Jahre schon mit annähernd 40 dz die 40%ige Sättigung eingetreten wäre, läßt sich nicht entscheiden, da es offenbar im Feldversuch nicht möglich ist, den im Versuch befindlichen Boden auch durch höhere Kalkmengen auf einen nennenswert höheren als 40%igen Sättigungswert zu bringen, wie auch daraus hervorgeht, daß trotz des nach den Analysen Zahlen 3 Jahre hindurch bestehenden Überschusses an CaCO_3 keine höhere als 42,8%ige Sättigung eingetreten ist. Es besteht also die Möglichkeit, daß diese Sättigung, die sich im Versuch nach drei Jahren bei einer Kalkung mit 60 dz eingestellt hat, auch schon mit 40 dz zu erreichen gewesen wäre.

Bemerkenswert ist, daß der Boden bei derjenigen Kalkmenge, welche im 3 Jahre die 40%ige Sättigung erreicht, den Höchstertrag zeigt und auf höhere Kalkung mit Minderertrag reagiert. Das stimmt überein mit der Gähringsschen Angabe, daß auf Sandböden eine Steigerung der Sättigung über 40% im allgemeinen keinen Mehrertrag, u. U. sogar einen Minderertrag verursacht.

Auch im Hinblick auf das vorher über den Faktor 4,5 Gesagte möchte ich diese Tatsache besonders hervorheben. Es ist etwa die aus dem Faktor 4,5 errechnete und zwischen der zur 40%igen und 70%igen Sättigung notwendigen Kalkung liegende Kalkmenge, die das günstigste Ertragsresultat erzielt.

Die praktische Bedeutung des Faktors 4,5 zeigt sich auch in zwei weiteren Versuchen auf Sandböden. Die Proben wurden im Spätsommer 1922, also nach drei bzw. empfindlicher Einwirkungsdauer der in der Tabelle genannten Kalkmengen entnommen. Die Proben 700 a—d enthalten 3%, die Proben 701 a—c 4,4% organische Substanz.

Wirkung gesteigerter Kalkgaben in 8 Feldversuchen

Parzelle Nr. und Kalkgabe (CaCO ₃)	1920	1921	Ant. d. b.	Ant. d. c.	CaCO ₃ 20% in 100 kg	Anteil an Kalk	Anteil 100% an Kalk	Anteil 100% an Kalk
700 a (ungekalkt)	4,92	4,89	2,1	11,8	0,0	5,82	58,45	29,75
700 b 1922 20 da/ha 1924 22 da/ha — 42 da/ha	6,04	5,29	0,0	5,8	17,5	49,98	—	—
700 c (a + 1927 20 da/ha — 80 da/ha)	6,87	5,81	0,0	4,4	42,8	64,44	—	—
700 d (c + 1927 100 da/ha — 142 da/ha)	7,81	6,92	0,0	2,2	100,5	79,79	—	—
701 a 1924 10 da/ha 1926 10 da/ha — 30 da/ha	5,29	4,82	0,5	10,8	1,72	59,69	48,8	27,75
701 b (a + 10 da/ha (1927) — 80 da/ha)	6,09	4,82	0,5	10,8	12,72	29,95	—	—
700 c (a + 1927 100 da/ha — 120 da/ha)	7,06	5,89	0,0	5,4	145,90	66,69	—	—

Der Boden 700 a braucht nach Berechnung mit dem Faktor 4,8 zur Neutralisation 58,45 da kohlensauren Kalk. Mit 42 da ist annähernde Neutralität erreicht. In diesem Falle liegt also die berechnete Menge sogar etwas über der erforderlichen und dasselbe ist bei der nur 40%igen Sättigung errechneten der Fall. Sie beträgt 59,75 da, es haben jedoch schon 42 da ausgereicht, um eine noch mehr als 40%ige Sättigung zu erzielen. Die nur 70%igen Sättigung errechnete Menge von 69,79 da reicht dagegen nicht aus, den Boden auf 70%ige Sättigung zu bringen, sondern erst die etwa 10fache Menge. Obgleich es sich ebenfalls um Sandboden handelt, ist dieser Boden wohl infolge seines höheren Gehaltes an organischen Stoffen durch höhere Kalkung auf 70%ige Sättigung zu bringen. Ebenso wie der vorher besprochene Boden brachte er aber bei einer Kalkung, die über die Kalkzahlen des Faktors 4,8 und der 40%igen Sättigung wesentlich hinausgeht, auf den Parzellen 700 c und d keinen Mehrertrag bei Roggen.

Auch der Boden 701 reagiert trotz der Fähigkeit, seine Sättigung durch Kalkung über 50% zu erhöhen, auf den Parzellen b und c nicht durch Mehrertrag, wahrscheinlich liegt

also auch bei dem die dem Pflanzenwachstum zuträglichste Sättigungsgrenze bei dem bereits erreichten 50% oder darüber.

Ob die für 70%ige Sättigung errechnete Kalkmenge von 27,78 da ausgereicht hätte, das bei 120 da gefundene 86,20% Sättigung zu erreichen, läßt sich nach den im Versuch verwendeten Kalkmengen aus dem vorher dargelegten Grunde nicht entscheiden, ist aber unwahrscheinlich. Ebenso bleibt die Frage offen, ob bereits die mit dem Faktor 4,5 errechnete Kalkung von 44,8 da Neutralsäure herbeigeführt hätte.

Dennach ist es nach unseren Ergebnissen auf Sandböden und insbesondere auf humusarmen Sandböden zweifelhaft, ob mit der auf einen bestimmten Sättigungsgrad berechneten Kalkmenge die gewünschte Sättigung unter praktischen Verhältnissen auch wirklich erreicht wird. Der auf 40%ige Sättigung berechnete Kalk wirkt auch jedoch auf den zu unseren Versuchen benutzten Sandböden auch ohne volle chemische Umsetzung mit dem Boden im Sinne eines Höchstertrages günstig aus.

Die aus dem Faktor 4,5 errechnete Kalkmenge scheint auch im Feldversuch zur an nähernden Erreichung der neutralen Reaktion und zur Erzielung von Höchsterträgen auf Sandböden brauchbar zu sein.

Zum Schluß noch einige Worte über den Zusammenhang von Kalkzustand und Reaktion auf den von uns untersuchten schwach humosen Sandböden. Neben anderen Beziehungen, die in diesem Zusammenhange nicht erörtert, sondern demnächst ausführlich mitgeteilt werden sollen, ergibt sich bei unsern vergleichenden Prüfungen gesunder und kranker Böden, daß in der überwiegenden Mehrzahl der Fälle bei Proben vom selben Schlage mit zunehmender H-Konzentration zunehmende Auswasch- und hydrolytische Ansäure, sinkender Gehalt an absorbierbarem Ca und sinkende Sättigungsprozente einhergehen. Da der abnehmende Sättigungsgrad an Basen Vorbedingung für Entstehung der hydrolytischen und Austauschansäure ist und für die Zunahme der H-Konzentration ist, waren bei sonst völlig gleichen Bedingungen Beziehungen zwischen diesen Bodeneigenschaften in der gesuchten Richtung zu erwarten.

Die Tabelle soll zeigen, ob sich aus denselben für Proben derselben Herkunft folgenden Beziehungen innerhalb gewisser Grenzen allgemeine Gesetzmäßigkeiten für Sandböden ableiten lassen. Die aufgeführten Böden sind durchweg schwach

Tabelle 2

Beziehungen zwischen Sättigungspressionen (gemessen nach Gehring), Reaktionen des Bodens (gemessen mit der Chinsydronselektrode), Aus-tausch- und hydrolytischer Acidität (ausgedrückt durch die für 100 mm HCl - bzw. HCl -Acetat-Filtrat verbrauchten mm NaOH)

Landesteil No.	Sättigungs-	$\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$	pH_{HCl}	Austausch- Acidität	Hydrolyt. Acidität
1	0,0	4,87	5,07	5,25	7,5
2	0,0	4,41	5,79	4,88	5,8
3	0,0	4,77	5,69	5,12	6,7
4	0,0	4,35	5,73	4,87	6,9
5	0,0	4,45	5,79	4,58	10,5
6	0,0	5,19	4,98	5,79	5,4
7	0,0	4,91	5,81	5,37	8,5
8	0,0	4,53	5,92	4,65	8,5
9	0,0	5,07	4,35	5,55	7,5
10	1,35	4,79	5,55	4,37	9,9
11	1,65	4,84	4,55	5,12	11,5
12	1,57	4,85	5,31	5,35	12,5
13	2,09	4,57	5,71	5,07	8,1
14	1,65	4,95	5,81	5,37	8,7
15	1,35	4,53	4,97	5,15	12,1
16	1,93	4,44	4,15	7,35	13,5
17	4,84	5,19	4,13	5,37	7,9
18	5,85	5,12	4,31	5,35	9,9
19	5,85	5,05	4,14	5,37	9,3
20	7,45	5,27	4,95	5,55	9,5
21	10,55	4,95	4,55	5,55	8,5
22	14,55	4,55	5,75	5,55	13,5
23	17,55	5,34	4,95	5,55	7,4
24	18,55	5,27	4,85	5,37	7,1
25	19,55	5,45	4,55	5,12	12,8
26	20,75	5,85	5,55	5,55	8,5
27	22,15	5,15	4,95	5,55	11,4
28	23,87	5,95	5,35	5,12	5,4
29	25,05	5,54	5,77	5,55	5,5
30	27,45	5,54	4,95	5,37	8,4
31	28,25	5,11	4,95	5,12	7,4
32	28,45	7,15	5,55	4,95	1,5
33	44,15	5,95	5,37	5,55	5,7
34	44,17	7,35	7,35	5,55	8,0
35	52,87	7,44	7,41	5,55	8,5
36	55,87	7,35	5,55	5,55	4,5
37	72,81	7,45	7,35	5,55	5,0
38	88,85	7,81	7,57	5,55	5,8

humose Sandböden. Sie stammen aus verschiedenen Gegenden der Provinz Brandenburg, aus der Provinz Sachsen und aus Mecklenburg und sind in der Tabelle nach steigenden Sättigungsprozenten geordnet.

Es zeigt sich deutlich, daß in Übereinstimmung mit den Berechnungen der Kalibedarfszahlen und den Ergebnissen der Kalkversuche oberhalb eines gewissen Sättigungsgrades, der nahe bei 40% liegt, annähernd neutrale Reaktionen erreicht ist, die Austauschbarkeit fast oder völlig verschwunden und die hydrolytische Acidität auf einen geringen Wert herabgedrückt ist, was das auch von Gehring und Ieffken von Hassenbäumer beobachtet wurde.

Hissink hat für eine Reihe von humosen Böden das Bestehen einer funktionellen Abhängigkeit zwischen pH und Sättigungsgrad nachgewiesen, wie sie nach Trenel bei Mineralböden zwischen pH und Austauschbarkeit besteht und von uns im übrigen bestätigt werden kann. Die Humus-Sandböden fallen aus der Hissink'schen Kurve heraus. Vor kurzem hat auch Hassenbäumer darauf hingewiesen, daß bei den von ihm untersuchten schwach lehmigen Sandböden Beziehungen zwischen Austauschbarkeit, also auch pH des Bodens, und Sättigungsgrad nur mit einem großen Spielraum vorhanden sind.

In Übereinstimmung damit ergibt der Vergleich unserer Tabellenzahlen, daß sich zwar eine deutliche Abhängigkeit zwischen Sättigungsgrad und Reaktion in dem Sinne erkennen läßt, daß im allgemeinen steigenden Sättigungsprozenten abnehmende Wasserstoffkonzentration entspricht, daß aber eine strenge funktionelle Abhängigkeit zwischen pH und Reaktionszustand bei unseren schwach humosen Sandböden nicht besteht. Es wird allerdings bei der Zusammenstellung Böden von nur annähernd gleichem Humusgehalt (1,8 bis 2,5%) verwendet worden, und wir lassen deshalb die Frage offen, ob sich bei besser ausgeglichener Humusgehalt engere Beziehungen ergeben.

NEUE FACHLITERATUR

J. Weigert u. F. Furst

Sorte und Düngung

Über die Verwertung steigender Stickstoffpreise durch verschiedene Sorten von Winterroggen, Winterweizen, Sommergerste und Hafer.

1929 166 S. mit 4 Abb. u. 76 Tabellen. Gr.-8^o Preis Mk. 4.— (postfrei)

•

Dr. P. Weiskopf

Superphosphat auf dem Weltmarkt

1929, 120 S. und 16 S. statist. Tabellen. Gr.-8^o. Preis Mk. 4.50 (postfrei)

Das Superphosphatvermögen stellt eine ganz besondere in wissenschaftlichen Beziehungen, deren Erörterung von der größten Wichtigkeit ist. Es umfaßt aber nicht nur eine Verflechtung wirtschaftlicher Art über die Superphosphatindustrie in der ganzen Welt. Dabei ist es zu begreifen, daß die Weltweit von den von langjährigen Erfahrungen auf dem Gebiete der Düngemittelindustrie zu stützen Werk benutzt. Es ist hier aus wissenschaftlicher Hinsicht bezüglich wissenschaftlichen und technischen werden die Erfahrungen über die Anforderungen, die von den Wirtschaftsverhältnissen im internationalen Bereich auf hinsichtlich angestrebt werden, Bewertung zu finden haben.

Deutsche Fachschriften

•

Direktor Dr. A. Mittsch

Über Misch- und Volldünger

1929 48 S. mit 10 Abb. Gr.-8^o (S.-A.) Preis Mk. 2.— (postfrei)

Vertragene Wirtschaften werden in vollem Maße der Wirtschaftlichkeit bekannt zu werden.

Ergebnisse des Betriebs sind wissenschaftlich gefordert werden.

Die sehr wertvollen Ergebnisse wissenschaftlichen (Vertragene über die Herstellung der verschiedenen chemischen Düngemittel sind auch für die Agrarwissenschaften sehr interessant und wichtig.

Ergebnisse der Pflanzenzüchtung, Düngung u. Bodenbau

VERLAG CHEMIE, G.m.b.H., Cornichestr. 3, BERLIN W 10

Fortschrittliche Verlag Chemie, Berlin, Nr. 15275

Fachliteratur

J. Haring, H. Meyer und J. Gieseler

Über die sogenannte „Urkornwachstumskrankheit“ als dritte Bodenkrankheit

Mitteilungen aus dem Laboratorium für Land- und Forstbau
der Versuchsanstalt Göttingen

1930, 41 S. in 31 Abb. u. 8 Tab., Gr. 8° (3-A.) Preis M. 2,—

A. Krieger

Über die Bekämpfung von Getreidekrankheiten durch chemische Mittel

1928, 26 S., 8° (3-A.) Preis M. 2,—

O. Leuninger

Die strukturgebende Wirkung der Kieselsäure bei anorganischen Phosphorsäurefällungen

1932, 71 S. in 18 Abb. u. vielen Tab., Gr. 8° Preis M. 2,50

O. Leuninger u. a.

Die Phosphorsäurefällungen

1933, 188 S. in 8 Abb. nach Photographien u. in zahlreichen Tabellen u. Diagrammen, Gr. 8° (3-A.) Preis M. 2,—

F. Rieding

Schwefel- und Siliciumstudien

1934, 320 S. in einem Band des Verfassers, Gr. 8° Preis M. 5,—

Seine klassischen Untersuchungen über die Verflüchtungen des Stickstoffs und des Schwefels sind von hohem Interesse und technischem Wert. Die Darstellung ist besond. auf die Darstellung des Experimentes so klar, daß der Laie den Fortschritt einiger derselben nicht verstanden konnte. Es wird wenig Chemie gelehrt, die nicht wenigstens an einigen der hier behandelten Fragen interessiert sind, und die so leicht sind, werden interessante Resultate bekommen, wenn sie das Buch lesen.
(Chemistry and Industry.)

VERLAG CHEMIE, G. m. b. H., Corneliastr. 3, BERLIN W 10

Deutschchemische Verlag Chemie, Berlin No. 128 33

Expanded procedures

Das Buch der großen Chemiker

Einige Beispiele nachhaltiger Geldgeber

1000

Dr. Gerdhar Hansen

Dr. S. J. Gould

Parad 1: Vom Zusammenh. des Naturgesetzes

518 Seiten Gr.-8°, mit 68 Abbildungen auf Tafeln und im Text
Preis: in Ganzleinen geb. M. 24.—, brosch. M. 11.— (gebunden)

January 1998

Stevens / Deakster / Alberius Magnus / Roger Bacon / Raymond
Lullus / Petrus Abder / Averroes / Paracelsus /
Agricola / Libavius / Petrus-Beatus Valentinus / van Helmont /
Glaser / Kirke / Stahl / Boerhaave / Geoffroy d. A. / Marg-
graf / Stahl / Cavendish / Priestley / Scheele / Lavoisier /
Lavoisier / Laplace / Berthollet / Proust / Fourier und
Vauquelin / Richter / Dalton / Thomsen und Gay-Lussac /
Davy / Faraday / Berzelius / Mitscherlich / Schönbom

[illegible]

11-10-2019

VERLAG CHEMIE, G.m.b.H., Carolinensia 3, BERLIN W10
Postfach 10 15 50, Verlag Chemie, Berlin, Nr. 15375

